



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

VIILUJEN LUJUUSLAJITTELU

Raaka-aineen ja tiheyden vaikutus koivuviilun
lujuusominaisuuksiin

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Antti Komulainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Koulutusohjelma

KOMULAINEN, ANTTI:

Viilujen lujuuslajittelu
Raaka-aineen ja tiheyden vaikutus
koivuviilun lujuusominaisuuksiin

Puutekniikan opinnäytetyö, 45 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää raaka-aineen ja tiheyden vaikutuksia koivuviilun ja koivuvanerin lujuusominaisuuksiin viilun lujuuslajittelun näkökulmasta. Projektin yritysapuolena toimi UPM Kymmene Wood Oy. Tarkastelussa oli korrelaatio koivuvanerin lujuuden ja uusien viilun mittausten välillä.

Teoriaosassa on käsitelty koivun yleisiä ominaisuuksia raaka-aineena. Erityishuomiota on kiinnitetty lujuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Lujuutta lisäävät ominaisuudet ja toisaalta myös viat, jotka heikentävät lujuutta, on pyritty käymään läpi mahdollisimman kattavasti vaneriteollisuuden kannalta.

Käytännön osuus opinnäytetyöstä tehtiin UPM:n Joensuun vaneritehtaalla, sekä Lahden tuotekehitysosastolla. Joensuun tehtaalle asennettiin uusi UPM:n kehittämä konenäkölaite syksyllä 2013. Konenäkölaitteen lajittelemana kerättiin erilaisia viiluja testausta varten. Kerätyistä viiluista valmistettiin vaneria Lahdessa ja koevanereille tehtiin erilaisia kokeita, joissa seurattiin erilaisten lujuuteen vaikuttavien tekijöiden käyttäytymistä.

Uuden konenäkölaitteen vian tunnistukseen perustuvien lujuusarvojen ja taivutuslujuuskokeiden tulosten välille pyrittiin löytämään luotettavampaa korrelaatiota. Tavoitteena oli löytää toimivimmat parametrit tehdasolosuhteissa tapahtuvalle viilun lujuuslajittelulle. Myös yhteyttä viilun tiheyteen ja viilun tiheyden säteilymittaukseen tarkasteltiin.

Asiasanat: koivuvaneri, vanerin lujuus, viilun lujuus, viilun tiheys, lujuuslajittelu, tiheyslajittelu, konenäkö

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

KOMULAINEN, ANTTI: Strength grading of veneers
Effect of raw material and density on
strength properties of birch veneer

Bachelor's Thesis in Wood Technology 45 pages, 1 page of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

The aim of the thesis was to study birch as a raw material, especially its density variation, in order to develop strength grading of veneer. The topic for the thesis came from UPM Kymmene Wood Oy. A more specified goal was to study new measuring methods for veneer grading and the correlation of the results with bending strength of birch plywood.

In the theory part the focus was on properties of birch as a raw material, especially the factors affecting the strength of the material. The aim was to provide a comprehensive overview of the characteristics that either improve or impair the strength of birch from the plywood manufacturing point of view.

The practical part of the thesis was executed at UPM's plywood mill in Joensuu and at the product development department in Lahti. A new machine vision application was installed at the Joensuu mill in the end of September 2013. Different veneers graded by the new application were collected from the mill for later tests that took place in Lahti. The focus of testing was on different factors that have an impact on the variation of bending strength.

One of the main goals was to find better and more reliable correlation between bending strength of plywood and the fault identification of the new machine vision application. The most suitable parameters for grading were found. A correlation was also found between the bending strength of veneers and the values from density measuring.

Key words: birch plywood, plywood strength, veneer strength, veneer density, veneer grading, strength grading, machine vision, computer vision

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	UPM KYMMENE OYJ	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Vaneriliiketoiminta	2
3	KOIVU RAAKA-AINEENA	4
3.1	Kasvuympäristö ja ominaisuudet	5
3.2	Tiheys ja sen vaihtelu	6
3.3	Koivuviilu ja viilulaadut	9
3.4	Yleisimmät viat	11
3.4.1	Laho	11
3.4.2	Vino- ja poikkisyyisyys	12
3.4.3	Oksa ja oksan lähialue	13
3.4.4	Sorvaushalkeamat ja viilun kupruilu	14
4	VIILUJEN LAJITTELU	15
4.1	Viilujen visuaalinen lajittelu	15
4.1.1	Konenäkö	16
4.2	Tiheyslajittelu	17
4.3	Lujuuskamera	18
5	KOKEELLINEN OSA	20
5.1	Eri mittausmenetelmien vertailu	20
5.2	Taivutuskokeet	23
5.3	Skannaus	25
6	TULOKSET	27
6.1	Levyn tiheyden ja paksuuden korrelaatio	27
6.2	Taivutuspuolen ja ladontajärjestyksen vaikutus	29
6.3	Taivutuslujuus	31
6.4	Pintaviilun vaikutus	31
6.4.1	Oksakoeappaleet	31
6.4.2	Oksan lähialueet	33
6.4.3	Oksattomat koeappaleet	33
6.5	Lujuuslajittelukriteerit ja –parametrit	34
6.5.1	Oksakappaleet	35

6.5.2	Oksan lähialueet	36
6.5.3	Oksattomat kappaleet	38
6.5.4	Raaka-ainavaihtelu	39
7	KEHITYSEHDOTUKSET	40
8	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	46

1 JOHDANTO

Vanerituotteet ovat olleet tärkeitä vientituotteita Suomelle vuosikymmenien ajan. Teknologian ja laadun paraneminen halvemmissä tuotantomaisissa on lisännyt tarjontaa ja kilpailua myös korkealaatuisissa vanerituotteissa. Perusvanerin tuotannon kannattavuuden laskiessa on ehdottoman tärkeää panostaa tuotekehitykseen pitkälle jalostetun vanerin kilpailukyvyn säilyttämiseksi. Olennaista on myös pysyä mukana kilpailussa muita materiaaleja vastaan ja kehittää vaneria komposiittimateriaalina. Lisäksi vaneriteollisuuteen soveltuvan koivun saatavuus asettaa uusia vaatimuksia raaka-aineen paremmalle hallinnalle ja hyötysuhteen kasvattamiselle tuotantovaiheessa.

Opinnäytetyössä on keskitytty tarkastelemaan puuraaka-aineen vaikutuksia koivuviilun laatuun lujuusominaisuuksien osalta. Lisäksi on tutkittu uusien mittausten menetelmien hyödyntämistä paremman viilun erottamiseksi. Yleisin yksittäinen ja eniten lujuuteen alentavasti vaikuttava tekijä on tunnetusti oksa. Myös oksan lähialueet tiedetään lujuudeltaan heikoksi. Opinnäytetyössä tutkittiin uuden konenäkölaitteen kykyä tunnistaa oksan vaikutusta viilun ja vanerin lujuusominaisuuksiin, erityisesti taivutuslujuuteen.

Yhdistelemällä uusilla mittausten menetelmillä saatavaa tietoa nykyisin käytössä olevaan viiludataan on mahdollista seurata ja analysoida puuaineen tiheyttä ja muita lujuusominaisuuksia entistä helpommin ja tarkemmin. Näin valikoituvat parhaat mahdolliset viilut sitä vaativan tuotteen raaka-aineeksi. Kokeellisessa osassa tutkitaan taivutuslujuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä verrataan parhaiten lujuuden mittaamiseen soveltuvia menetelmiä.

Tarkemmin lajiteltavissa oleva luja viilu sekä halutun viilun ennakoitavissa oleva saanto avaavat uusia mahdollisuuksia vanerin valmistukselle. Lisäksi ylilaadun osuus alemmissa laatuluokissa vähenee ja kannattavuus paranee. Lujinta mahdollista vaneria voidaan valmistaa entistä tehokkaammin, ja myös uudet tuotesovellukset ja käyttökohteet tulevat mahdolliseksi.

2 UPM KYMMENE OYJ

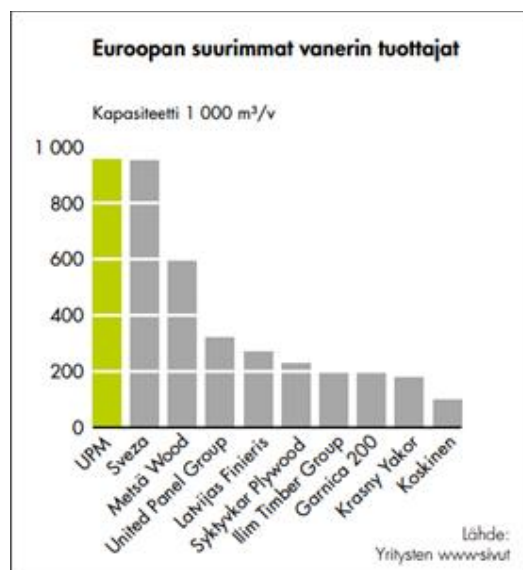
2.1 Yleistä

UPM:n liiketoimintarakenne muodostuu seuraavista liiketoiminta-alueista: UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Paper Asia, UPM Paper ENA (Eurooppa ja Pohjois-Amerikka) ja UPM Plywood. (UPM 2014.)

UPM:n liikevaihto oli vuonna 2013 yli 10 miljardia euroa. UPM:n palveluksessa on noin 21 000 henkilöä 14 maassa ja 65 tuotantolaitoksessa. UPM:n osakkeet on listattu NASDAQ OMX:ssa Helsingin pörssissä. (UPM 2014.)

2.2 Vaneriliiketoiminta

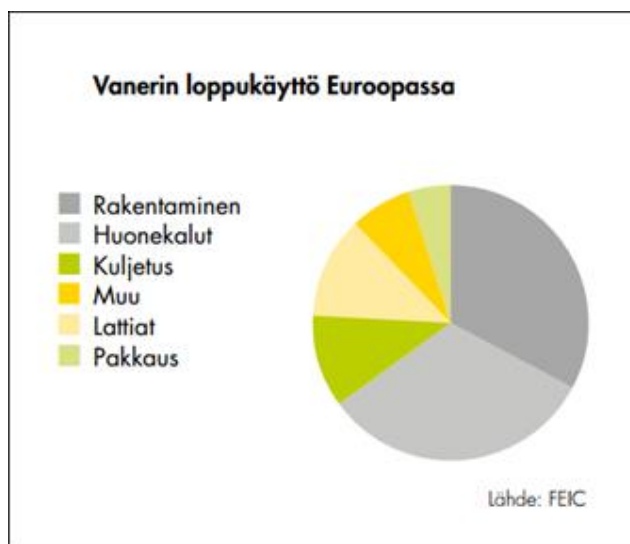
UPM on Euroopan suurin vanerinvalmistaja, jolla on laaja tuotevalikoima ekologisia WISA® vaneri- ja viiluratkaisuja. UPM valmistaa kestäviä standardi- ja erikoistuotteita muun muassa rakennus-, kuljetus-, huonekalu- ja parkettiteollisuuden tarpeisiin maailmanlaajuisille markkinoille. UPM:n vaneriliiketoiminta valmistaa myös uutta lämpömuotoiltavaa UPM Grada - puukomposiittimateriaalia. Vaneriliiketoiminnalla on kaikkiaan 9 tehdasta Suomessa, Virossa ja Venäjällä. (UPM 2014.)



KUVIO 1. Euroopan suurimmat vanerin valmistajat (UPM:n vuosikertomus 2013, 14.)

Tuotteiden valmistuksessa käytettävä puuraaka-aine on peräisin kestävästi hoidetuista metsistä ja hankittu laillisella tavalla. Puunhankintaa valvotaan kolmannen osapuolen varmistamalla puun alkuperän seurantajärjestelmällä. UPM pyrkii maksimoimaan sertifioidun puun käytön ja edistämään sertifioidun puun käyttöä maailmanlaajuisesti. Vuonna 2013 UPM:n tuotantolaitosten käyttämästä puuraaka-aineesta 80 prosenttia oli sertifioitua. (UPM 2014.)

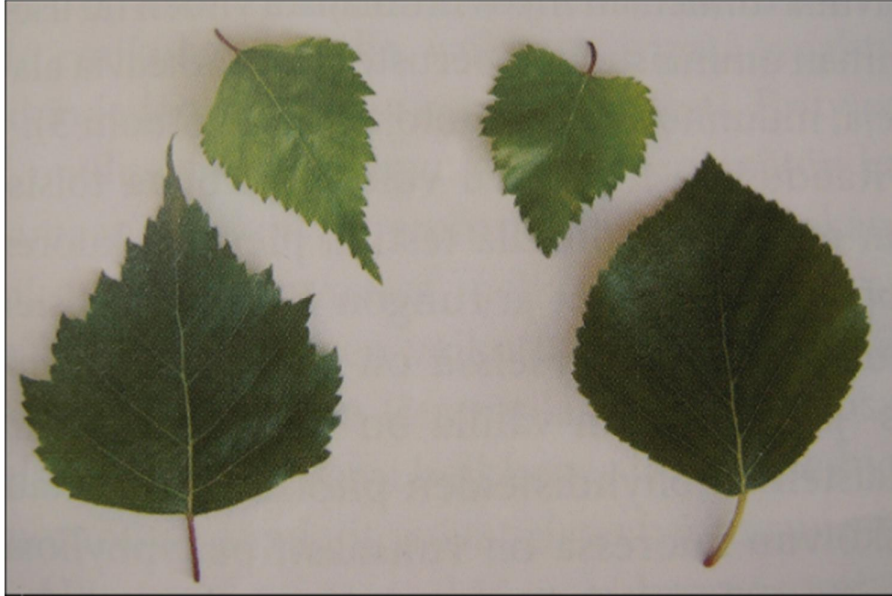
UPM valmistaa havu-, seka- ja koivuvaneria. Valmistetusta vanerista noin 1/3 on koivuvaneria. UPM valmistaa vuosittain noin miljoona kuutiometriä viilua ja vaneria. (UPM 2013, 14.)



KUVIO 2. Vanerin loppukäyttö Euroopassa (FEIC / UPM:n vuosikertomus 2013, 14.)

3 KOIVU RAAKA-AINEENA

Vaneriteollisuudessa käytettävät ja yleisimmin Suomessa menestyvät koivulajit ovat rauduskoivu (*Betula pendula* Roth) ja hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.) (Kuvat 1 ja 2). Hieskoivu levinneisyys on selvästi suurempi kuin rauduskoivun.



KUVA 1. Vasemmalla rauduskoivun lehdet, oikealla hieskoivun lehdet. (Oksanen 2008.)



KUVA 2. Vasemmalla rauduskoivun runko, oikealla hieskoivun runko. (Oksanen 2008.)

Kaikista Suomen puuvaroista hieskoivua on 12 % ja rauduskoivua vajaa 4 %. Valtakunnan metsien investoinnin 2009 – 2011 mittausten mukaan kuutiometreissä mitattuna hieskoivua on noin 250 miljoonaa ja rauduskoivua noin 75 miljoonaa kuutiometriä. (Korhonen, Tomppo, Tuominen & Ihalainen 2011.)

Mukaan lukien tuontipuu sekä ei-kaupallinen puun käyttö viimevuosina puun kokonaiskulutus Suomessa on ollut noin 70 miljoonaa kuutiota, josta koivun osuus on noin 12 miljoonaa kuutiota. Vaneriteollisuuden tarpeisiin puuta menee noin 2,5 miljoonaa kuutiota. Kyseisestä 2,5 miljoonasta kuutiosta noin 0,9 on koivua. Vuosittain vientiin menevän vanerin määrä Suomessa on noin 800 000 kuutiota, josta koivuvaneria on noin 300 000 kuutiota. (Aarne 2013, 16 – 23.)

Suomessa noin 90 % koivusta menee puumassateollisuuden tarpeisiin. Koivutukkia kaadetaan vuosittain reilu miljoona kuutiota, tästä noin 90 % menee vaneriteollisuuden käyttöön. Lisäksi vaneritukkia tuodaan ulkomailta. Venäjältä tuodun koivun avulla vanerin raaka-aineena käytetyn koivun määrä kasvoi 2000-luvun alkuvuosina, parhaimmillaan koivua käytettiin 1,8 miljoonaa kuutiota vuonna 2006. (Niemistö 2008, 232.)

3.1 Kasvuympäristö ja ominaisuudet

Suppeammin levinnyt rauduskoivu on yleisiltä ominaisuuksiltaan parempi ja luonnollisesti siten myös vanerin raaka-aineena suotuisampi. Verrattuna hieskoivuun rauduskoivu on keskiarvoisesti hieman tiheämpää ja ikääntyessään vähemmän herkkä lahoamaan. Lisäksi rauduskoivu kasvaa nopeammin ja on kookkaampi hakkuuikässä kuin hieskoivu. Vaneritukkina rauduskoivun tyven vähäoksaisuus on myös suuri etu. (Niemistö 2008, 112 – 117.)

Käytännössä hies- ja rauduskoivun koivun eroja ovat kuitenkin pienet. Hies- ja rauduskoivua käytetäänkin sekaisin vanerin materiaalina ominaisuuksien vähäisen eron ja rauduskoivun heikomman saatavuuden takia.

Koivu menestyy hyvin Etelä- ja Keski-Suomessa, ja tukki soveltuu raaka-aineena hyvin vaneriteollisuuteen. Koivun levinneisyys kattaa pohjoisen pallon puoliskon lauhkean ja viileän ilmastovyöhykkeen. Luonnollisesti samoilla korkeusasteilla Suomen naapurimaissa on saatavilla vastaavaa raaka-ainetta. Erityisesti Venäjän

metsät ovat puun tuonnin kannalta merkittäviä. Myös Virosta ja Latviasta saadaan yleisesti hyvälaatuisena pidettyä viilutukkia. (Viherä-Aarnio & Niemistö 2008, 29, 236.)

Viljelykoivikoissa puun ympärysmitta jää pienemmäksi kuin luonnonmetsissä. Tukin ympärysmitta vaikuttaa saantoon per tukki kaikessa puuteollisuudessa. Erityisesti sorvatessa hukkaa syntyy pienessä tukissa suhteessa enemmän, koska tukin keskeltä jäljelle jäävän purilaan halkaisija pysyy samana. Lisäksi etenkin peltomaille istutetuissa koivussa nopeasta kasvusta johtuen puuaineen tiheys on hieman alhaisempaa kuin luonnonkoivuissa. Nopeasta kasvusta johtuvat leveät vuosilustot eivät kuitenkaan alenna tiheyttä yhtä voimakkaasti kuin havupuilla. Myös pakkashalkeamat ovat keskimääräistä yleisimpiä hyväkasvuissa koivuissa. (Niemistö 2008, 116 – 117.)

3.2 Tiheys ja sen vaihtelu

”Tiheys (massatiheys) on massa tilavuusyksikköä kohti. Kun tilavuuden symboli on V ja sen yksikkö m^3 , tiheys ρ on m/V ja yksikkö kg/m^3 .”
(Kärkkäinen 2007, 138.)

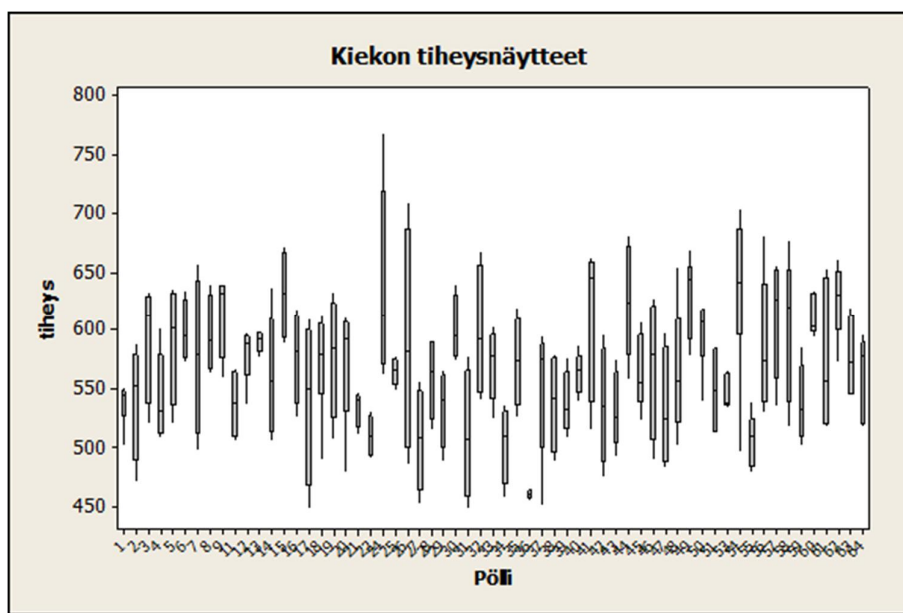
Puuaineen tilavuus voidaan määrittää irtotilavuutena (esimerkiksi hake), kiintotilavuutena (puu yhtenäisenä palana) sekä ainestilavuudella, jolloin tilavuuteen ei lueta mukaan huokosia, vaan pelkästään soluseinämien aine. Lehtipuut, kuten koivu, tunnetaan yleisesti tiheämpänä puuaineen kuin havupuut. Tarkasteltaessa soluseinämän ainestiheyttä on havupuilla arvo kuitenkin korkeampi kuin lehtipuilla. Kyseiset erot ovat kuitenkin suhteellisen pieniä. Lisäksi ainestiheys vaihtelee kiintotiheyteen verrattuna erittäin vähän. (Kärkkäinen 2007, 138.). Käytännössä aina puun tiheydestä puhuttaessa tarkoitetaan kuitenkin kiintotilavuutta. Viilun tiheyden mittauksessa on käytössä usein myös neliöpaino, jonka yksikkö on g/m^2 .

Havupuilla sekä monilla lehtipuilla rungon tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin mentäessä. Lehtipuissa tiheyskäyttäytyminen voi olla myös päinvastaista, tunnetuimpana esimerkkinä pyökki. Tiheyden kasvaminen ytimeistä pintaan päin tuntuu loogiselta, kun ajatellaan rungon lujuutta. Oletuksena on, että puut ovat

evoluutiossa kehitettyneet tähän maksimoidakseen rungon lujouden puumateriaalin massa kohti. (Kärkkäinen 2007, 146 – 149.)

Puun tiheys vaihtelee puun eri osissa (oksissa, juurissa ja rungossa), joihin lisäksi laho voi vaikuttaa. Viilun sorvausta mietittäessä olennaista on tarkastella ja tutkia tiheyden muutoksia rungon ytimen ja pinnan välillä. Puun tiheydessä on pientä vaihtelua myös rungon pituussuunnassa, mutta muutos on harvoin merkittävää. Koivun tyviosa on vanerin valmistuksen kannalta tärkein puun osa. Suurempi halkaisia tarkoittaa suurempaa saantoa ja lisäksi laatua heikentäviä oksia (pinnassa) on yleensä vähemmän.

Kasvuympäristöllä ja olosuhteilla on todettu olevan vaikutus puun tiheyteen (Kuvio 3). Yksittäisten puiden osalta erot voivat olla suuria. Maaperän ja kasvuympäristön tiheyteen vaikuttavat tekijät voivat näkyä selvemmin suuremmassa mittakaavassa tuontipuun kohdalla.



KUVIO 3. Esimerkki viilupöllin tiheysvaihtelusta kiekkonäytteissä. Pöllit ovat peräisin neljästä eri leimikosta, 1–16, 17–32, 33–48 ja 49–64. (UPM:n aineisto, Koponen S, 2014.)

Kivennäismaassa kasvavan koivun tiheys on hieman korkeampi hedelmällisessä maassa verrattuna karuihin kasvuolosuhteisiin. Turvemailla vaikutuksen on todettu sen sijaan olevan päinvastainen. Kasvualustasta ei kuitenkaan pidä vetää liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä puuraaka-aineen laadun tai tiheyden suhteen.

Kyseiset ominaisuudet eivät suoraan näy viilun ja vanerin laadussa, vaan mm. oksista sekä vinosyisyydestä johtuen erot eri kasvualustoilta tulevien tukkien välillä kaventuvat huomattavasti. (Herajärvi & Verkasalo 2009, 2.)

Vertailtaessa raudus- ja hieskoivun tiheyttä useat tutkimukset ovat osoittaneet rauduskoivun olevan 1-8 % tiheämpää kuin hieskoivun. Molempien lajien tiheysvaihtelu on samankaltaista, eli selvästi suurempaa rungon säteen suunnassa kuin pitkittäissuunnassa. (Herajärvi & Verkasalo 2009, 2)

Viljelykoivikoista (rauduskoivu) ja ojitetuslta turvemailta (hieskoivu) saatavan koivutukin saatavuuden parantuessa myös tukin laatuerot ovat kasvaneet (Verkasalo & Herajärvi 2009, 1). Tällä on vaikutus myös saatavan viiluraaka-aineen tiheyteen, sillä saatava puuraaka-aine ei aina yllä luonnon metsän hitaammin kasvaneen puun tiheyteen.

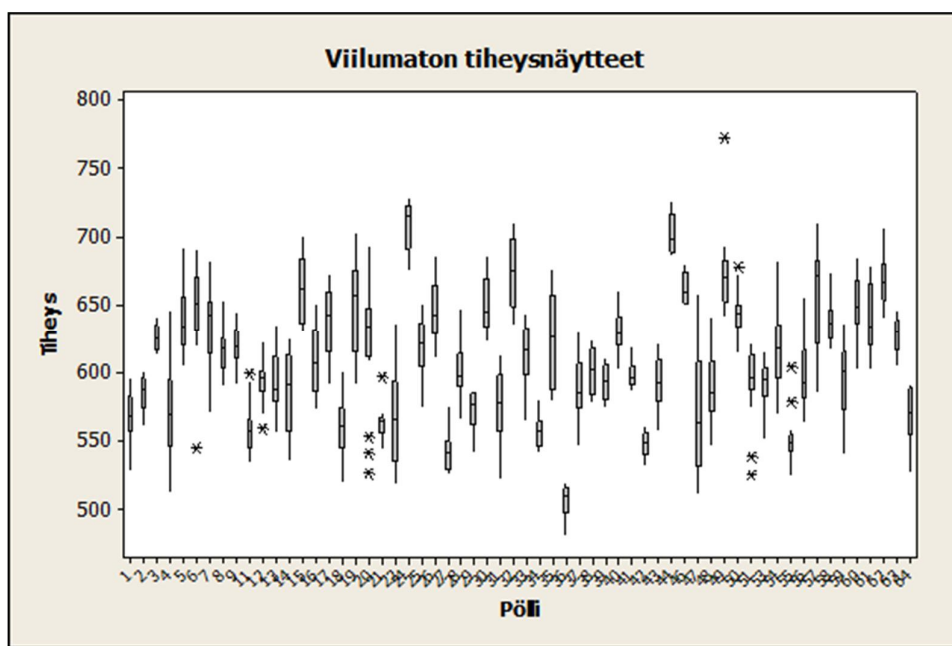
Puun tiheydellä on todettu olevan selvä korrealaatio lujisuuden kanssa. Kotimaisista puista koivu tunnetaan tiheimpänä. Koivu on suomalaisiin havupuihin verratuna tasalaatuista, mikä johtuu koivun hajaputkiloisuudesta, kesäpuun pienestä osuudesta ja kevät- ja kesäpuun pienestä tiheyserosta. (Herajärvi & Verkasalo 2008, 189)

Puuaineksen tiheyttä seurataan tarkasti teollisuuden eri tuotantovaiheissa. Mittausmenetelmiä on useita, ja tulokset eivät ole aina verrannollisia. Esimerkiksi pölli- ja viilutiheyden mittauksessa tiheimmän puun osuus vaihtelee saannossa. Pölleistä otettava kiekkotiheys kattaa myös sydänpuun ja puun ytimen, kun taas sorvauksessa ydin jää purilaaseen, eikä läheltä sydänpuuta tulevan kevyemmän puuaineksen osuus näy tuloksissa yhtä voimakkaasti. Lisäksi viilumatossa huomattavasti suurempi osa viilusta on peräisin lähempää pinta puuta kuin ydintä. Sorvauksessa kohti ydintä mentäessä pöllin halkaisija pienenee ja viilumaton viimeisten metrien sorvaamiseen tarvitaan monta kierrosta. Koivupurilaan halkaisija on yleensä noin 65 mm.

Viilun tiheys tai neliöpaino voidaan määrittää joko ennen viilun kuivausta tai kuivauksen jälkeen. Kuivauksen jälkeen viilun suhteellinen kosteus on 3-6 %. Kuivauksen jälkeinen viilun kuivaus 0 %:iin tiheyden määrittämiseksi kuivapunnitusmenetelmällä on siis suhteellisen nopeaa. Laboratorioissa tehtävissä

erilaisissa lujuuskokeissa viilun tai vanerin kosteus tasaannutetaan usein vakio-olosuhteissa, jotka ovat ilman suhteellisen kosteuden osalta 65 % ja lämpötilan 20 °C.

Viilun sorvauksessa syntyvän viilumaton tiheyden vaihtelu syntyy ytimen ja pinnan sekä rungon pituus pituussuuntaisesta tiheysvaihtelusta. Rungon pituussuuntainen tiheysvaihtelu voidaan kuitenkin jättää hieman pienemmälle huomiolle, koska vaihtelu yhden pölin matkalla on käytännössä olematonta. Kuviosta 4 on havaittavissa, kuinka viilumaton tiheys vaihtelee viilumaton sisällä. Kuvion näytteiden raaka-aine on peräisin neljästä eri leimikosta. Aineiston perusteella yhden leimikon tukeista saadun viilun minimi- ja maksimitiheyden erotus on noin 200 kg/m³.



KUVIO 4. Esimerkki viilumaton tiheysvaihtelusta. (UPM:n aineisto, Koponen S, 2014)

3.3 Koivuviilu ja viilulaadut

Verrattessa koivua puuraaka-aineena esimerkiksi havupuihin samat hyvät ominaisuudet säilyvät pitkälti myös sorvatussa viilussa: Suhteellisen tiheä puuaines soveltuu sorvaukseen hyvin, ja ohuet viilupaksuudet ovat näin mahdollisia. Verrattaessa havupuihin koivun etuna ohuen viilun sorvauksessa on

puuaineen homogeenisuus. Lisäarvoa valmille tuotteelle tuo parhaimmillaan hyvin tasalaatuinen ja vaalea väri.

Vanerin pintaviiluna käytetty koivuviilu lajitellaan paremmuus järjestyksessä SFS 2413 standardin laadun mukaan neljään visuaaliseen luokkaan: B, S, BB ja WG. Luokittelu tapahtuu pääasiassa oksakoon ja oksien määrän (lukumäärä tai yhteenlaskettu pinta-ala per neliömetri) sekä oksan laadun mukaan. Väri vaihtelu B-laadussa on sallittu erittäin rajoitetusti. S-luokasta alkaen vähäisen väri vaihtelun lisäksi myös paikat ja pienet terveet oksat ovat sallittuja. Esimerkiksi S-laadussa sallitaan yksi paikka per neliömetri ja WG-laadussa sallitaan useamman paikan lisäksi myös päällekkäiset paikat. Valmiissa vanerissa WG-laadun pintaviilussa myös pieni puhkihionta ja liiman läpi tuleminen sekä viilun karheus ovat sallittua. (Handbook of Finnish Plywood 2007, 12 – 13.)

Näiden lisäksi aiemmin käytössä oli myös A-laatu, eli parempi B-laatu. Pinnoitettavan vanerin yhteydessä on käytössä myös WGE-laatu, jossa kaikki oksat on paikattu pinnoituksen mahdollistamiseksi. Kaikesta käyttökelpoisesta viilusta 39 % luokitellaan pintaviiluiksi ja 61 % väliviiluiksi, parhaimpien pintaviilulaatujen osuus on vain muutamia prosentteja (Koponen 1995, 212.).

Käytettävät väliviilut luokitellaan yleensä kahteen osaan: parempiin ja huonompiin (Herajärvi ja Verkasalo, Koivun kasvatus ja käyttö 2008, 210.). Väliviilut sekä jatkettavat tai saumattavat viilulaadut ovat usein valmistaja-, sekä myös tehdaskohtaisia. Tietoa väliviiluista kirjallisuudessa on saatavilla hyvin vähän.

Parhaimmissa viilulaaduissa värin tasaisuus, laho, halkeamat ja viilun pinnan karheus ovat merkittäviä tekijöitä. Kuitenkin yli 90 %:sti yksittäisissä tapauksissa laadun määrittelee viilun oksaisuus. Viljelykoivikon ja turvemaan koivun vertailussa kaikkien parhain viilulaatu on yleensä peräisin kivennäismailla kasvaneesta rauduskoivusta ja epätodennäköisimmän turvemaalla kasvaneesta hieskoivusta. BB-laadusta selvästi suurin osuus on peräisin turvemaalla kasvaneesta hieskoivusta. (Verkasalo & Herajärvi 2009, 2.)

Toisin kuin kertopuuviiluilla, vaneriviiluilla ei Suomessa ole lujuus eikä tiheysluokkia. Esimerkiksi Metsä Woodin valmistamien kertopuupalkkien Kerto-

S® ja Kerto-T® valmistukseen käytetyt viilut lajitellaan tiheyden mukaan Metriguardin toimittamalla mittalaitteella (Breiling 2011, 17.). Vaikka vanerin visuaalisia viiluluokkia ei systemaattisesti käytetä lujuuden hallintaan, on eri luokilla vaikutus määritelyihin standardilujuuksiin.

Pohjois-Amerikassa sen sijaan vanerin luokittelussa on käytössä voimakkaammin myös tiheys. American Plywood Associationin, jonka jäseniä yli 70 % Pohjois-Amerikan puulevyn valmistajista on, mukaan vaneri luokitellaan kahteen pinnoiteryhmään: HDO (High Density Overlay plywood) ja MDO (Medium Density Overlay plywood). Vanerin valmistukseen ei kuitenkaan käytetä viilun tiheyslajittelua, vaan tiheyttä, ja samalla lujuutta kasvatetaan hartsipinnoitteen avulla. (APA 2011, 3-4.). Suomessa on olemassa yhdet lujuusarvot tietyn paksuisesta viilusta tehtyyn tietyn paksuiseen vaneriin. Vanerilla ei ole ollut ”tarvetta” kehittää lujuuslajittelua, koska käyttökohteiden lujuusvaatimukset levymateriaaleilla ovat aiemmin usein olleet erityyppisiä kuin esimerkiksi kertopuulla.

3.4 Yleisimmät viat

Teoriaosassa on painotettu koivun lujuuteen vaikuttavia vikojen tarkastelua. Lujuuslajittelussa on olennaista tunnistaa viilun viat, joilla on vaikutusta lujuuteen sekä arvioida vian vaikutuksen suuruus lopputuotteessa. Koivulla ei varsinaisesti ole lajikohtaisia vikoja, vaan koivussa esiintyy pääasissa samoja vikoja kuin esimerkiksi havupuissa.

3.4.1 Laho

Oikea-aikainen hakkuu on olennainen osa laadukkaan raaka-aineen saamiseksi. Puun koko kasvaa tiettyyn pisteeseen saakka puun vanhetessa. Koivun kohdalla haasteena on iäkkään puun lahoaminen. Viilun tuotantoa ajatellen rungon tyviosan tulisi olla mahdollisimman paksu. Lahoa sisältävä viilu on heikkoa, mutta mikäli lahoa on riittävästi, viilun sorvaus ei onnistu ollenkaan. Laho viilupölli ”korkkaa” sorvauksessa, eli tukkia pyöritettäessä laho puuaines pölliin päissä murtuu ja tukki ei pyöri. Korkkaaminen on haasteena etenkin sorvattaessa läheltä pölliin ydintä, koska tartunta pinta-alaa tukin päissä on vähemmän.

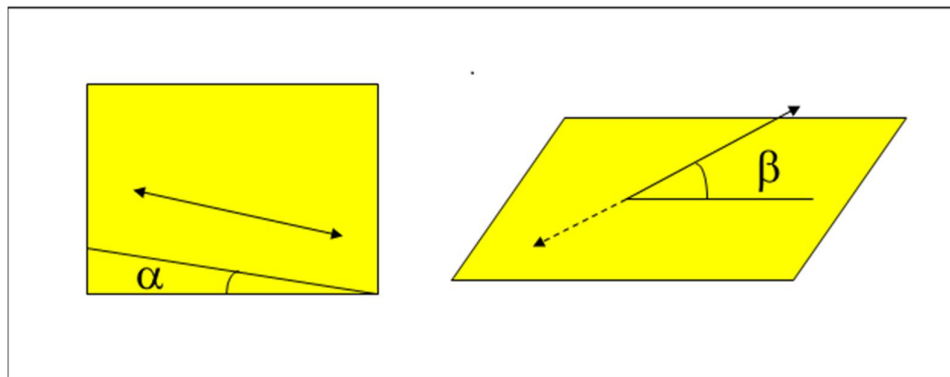
Metsänhakkuun kiertoajan pidentäminen on taloudellisesti järkevää, mikäli merkittävä osa puustosta voidaan käyttää viilutyvitukkeina. Kiertoajan pidentäminen kuitenkin lisää lahovikojen riskiä. Koivun biologinen rappeutumisvaihe alkaa rauduskoivulla 70 - 90 vuoden jälkeen ja hieskoivulla 60-80 vuoden iässä. (Niemistö 2008, 182.)

Kovalaho on suhteellisen yleistä koivutukeissa ja selvästi nähtävissä sorvatussa viilussa. Kovalaho puuaines ei kovuudeltaan oleellisesti poikkea terveestä puusta, mutta on lujuusominaisuuksiltaan selvästi heikompaa. (Mäkelä 1999, 2.)

3.4.2 Vino- ja poikkisyisyys

Ikääntymiseen littyvien yleisimpien vikojen lisäksi tarkasteltaessa koivua viiluna nousee esiin myös muita vikoja, kuten vino- ja poikkisyisyys. Vinosyisyys viilussa tarkoittaa, että puusyyt kulkevat pinnan määräämässä tasossa, mutta puusyyt muodostavat kulman suhteessa viiluarkin reunaan (Kuva 3 α).

Poikkisyisyys tarkoittaa, että puusyyt leikkaavat pinnan määräämän tason (Kuva 3 β). (Koponen S, 2005.)



KUVA 3. Viilun vinoisyisyys vasemmalla ja poikkisyisyys oikealla. (Koponen S, 2005.)

Poikkisyisyyttä esiintyy varsinkin, kun sorvataan viilua kartiokkaista tyvitukeista ja lengoista tukeista. Poikkisyisyyttä esiintyy myös yleisesti viiluissa olevien oksien ympäristössä. Onkin hieman ristiriitaista, että parhaana viilupöllinä pidetystä tyvitukista todennäköisesti saadaan poikkisyisyyttä sisältävää viilua. (Lehtinen 1993. Koponen ja Salovaara 2004.)

Poikkisyydyden tapaan vinosyisyys heikentää puun lujuutta. Puun solukon suunnan poiketessa rungon yleisestä syysuunnasta puun lujuus heikkenee. Jo pienikin vinosyisyys vaikuttaa huomattavasti puun kestävyteen. (Puu Proffa, 2014.)

3.4.3 Oksa ja oksan lähialue

Yksittäinen eniten puun lujuutta heikentävä tekijä on käytännössä aina oksa. Oksat heikentävät tasalaatuisuutta ja lujuutta. Viilupölinä käytetty koivun tyvitukki on kuitenkin vähäoksaista. Oksalla ei ole vanerissa yhtä suurta lujuuteen heikentävää vaikutusta kuin esimerkiksi sahatavarassa. Toisin kuin vaikkapa laudassa, oksa ei ulotu vanerissa koko tuotteen läpi, vaan oksa on aina ainostaan yksittäisessä viilukerroksessa. Tästä huolimatta oksan lujuutta alentava vaikutus, etenkin pintaviilussa ja ohuessa vanerissa on suhteellisen suuri, vaikkakin pintaviilulaaduissa oksien määrä on vähäisempi kuin sisäviiluissa. Pintaviilun oksat toki paikataan lähes aina, mutta viilun lujuus on heikko myös paikan kohdalta.

Oksan koko on yleensä verrannollinen lujuuden alenemiseen. Oksan halkaisijan kasvaessa viilun ja vanerin lujuus heikkenee. Myös oksan laatu, esim. terve- ja laho-oksa, vaikuttaa kappaleen lujuuteen. Lisäksi väliviilussa olevan oksan halkeilu ja koholle nouseminen kuivaessa voi aiheuttaa epätasaisuutta ohuen vanerin pinnassa sekä pieniä alueellisia ongelmia liimauksessa. Liiman tartunta on heikompaa, jos sisäviilun oksa nousee koholle tai irtoaa liimausvaiheessa.

Oksan lähialueet ovat voimakkaasta vinosyisyydestä johtuen yleensä lujuudeltaan heikkoja kohtia. Oksan puuaines on erittäin tiheää, ja usein taivutuslujuuskokeessa murtuma tapahtuu oksan vierestä eikä itse oksan kohdalta. Vaikka kappaleeseen ei osuisikaan oksaa, oksan syysuunnan häiriöiden takia kappale voi olla heikko. Oksan lähialueen käyttäytymiseen lujuuskokeessa kuitenkin vaikuttavat testikappaleen koko sekä testausmenetelmä, paksuilla levyillä vaikutukset ovat luonnolisesti pienempiä.

3.4.4 Sorvaushalkeamat ja viilun kupruilu

Sorvaushalkeamat syntyvät syysuunnassa viilun alapintaan kun viilu oikaistaan suoraksi matoksi. Sorvaushalkeamaa esiintyy enemmän ohuemmallalla viilupaksuudella, erityisesti pientä pölliä tai läheltä pöllin ydintä sorvatessa. Isoa pölliä tai pöllin pintaa sorvatessa halkaisia on suurempi ja viilu on vähemmän herkkää halkeilemaan sorvauksen yhteydessä. Halkeama syntyy suoristetun viilun yläpinnan puristavasta ja alapinnan vetävän voiman vaikutuksesta (Herajärvi 2008, 209.).

Sorvauksen jälkeen viilu kuivataan noin 3-6 %:n suhteelliseen kosteuteen. Kuivauksen yhteydessä esiintyviä ongelmia voivat olla viilun aaltoilu sekä kupruilu. Viilun pinnan laadusta riippuen voimakas kupruilu voi vääristää konenäön tuloksia mistä voi aiheutua virheitä viilun lajittelussa ja katkonnassa.

4 VIILUJEN LAJITTELU

Ennen koneellista viilun mittausta kaikki lajittelu tapahtui silmämääräisesti visuaalisen laadun mukaan. Virheet olivat yleisiä ja näkemyserot eri työntekijöiden välillä vaihtelivat, joten samaankin laatuluokkaan lajitellussa viilussa vaihtelut saattoivat olla suuria. Myös työvuoron aikana, esim. yövuoron loppuvaiheessa keskittyminen voi olla usein huonoa ja vaikutus näkyi lopputuotteessa. Esimerkiksi sahatavaran osalta eräiden tutkimusten mukaan ihmisen tekemän lajittelun oikeellisuus saattaa olla jopa alle 70 % (Usenius 2003.). Konenäön käyttöönoton jälkeen vaihtelua eri laatuluokkien sisällä on saatu pienennettyä ja laatuluokkia tarkennettua.

Mittaaminen voidaan yleisesti jakaa karkeasti mekaaniseen ja koskemattomaan mittausteknologiaan. Mekaanisesta mittausta viilun osalta käytetään tuotannossa lähinnä paksuuden sekä viilumaton pituuden mittaamiseen.

Yleisimpiä koskemattomia mittausmenetelmiä puuteollisuudessa ovat kameroihin ja laserlaitteistoihin, röntgensäteisiin, mikroaaltoihin, lämpösäteilyyn, sähköisiin ominaisuuksiin (kapasitiivinen, induktiivinen) perustuvat menetelmät sekä akustiset menetelmät (Östberg 2010, 21.). Näistä osaa käytetään myös tiheyden mittaamiseen.

4.1 Viilujen visuaalinen lajittelu

Viilun visuaalisella lajittelulla pyritään ensisijaisesti valitsemaan kaikista virheettomimmat viilut vanerin pintaviiluiksi, eli näkyväksi pinnaksi. Viilun visuaalinen laatu kertoo käytännössä aina myös hyvin paljon viiluun lujudesta.

Konenäkökameroilla tarkkaillaan viilun pinnan laatua, jonka perusteella optimoidaan viilun katkonta arkeiksi. Lisäksi kameroilla voidaan luokitella viilun pintavikoja, ohjata oksien ym. vikojen paikkausta sekä luokitella viiluarkit visuaalisen laadun perusteella. (Östberg 2010, 25.)

Vaneritehtailla visuaalisen laadun tarkkailussa on viime vuosina käytetty muun muassa Raute Oyj:n toimittamaa Mecano VDA (Visual Defect Analyzer) -kameraa. Verkkokuivattu viilumatto kulkee kameran alta, minkä jälkeen leikkuri

leikkaa konenäön ohjaamana viilumaton halutun kokoiseksi arkeiksi oksiin, ym. vikoihin perustuvan laatuluokituksen mukaan.

Konenäkö on yksi teollisuuden lähihistorian merkittävimmistä keksinnöistä, joka kehityksen myötä yleistyi voimakkaasti lähes kaikilla aloilla. Suomessa oli jo 1980-luvulla monia konenäköalan yrityksiä, joskin yritykset olivat pieniä ja toiminta hajautunutta (Raivio & Syrjänen 2005, 51). Esimerkiksi FinScan Oy on toimittanut mittauslaitteita viilun laadunmittaus- ja paikkauksenohjausjärjeselmiin. (Östberg 2010, 37.). Lisäksi yhtenä kotimaisena valmistajana voidaan mainita Lisker Oy. Rauten vuonna 2005 ostaman Mecano Group Oy:n laiteratkaisut ovat kuitenkin vakiinnuttaneet asemansa viilun visuaalisessa lajittelussa.

4.1.1 Konenäkö

Konenäkö määritellään usein kokonaisuudeksi, joka koostuu kuvan hankinnasta, käsittelystä, analysoinnista ja sen perusteella tehtävästä päätöksestä. Konenäkö muistuttaa paljon ihmisen näköäisita. Kameran tai muun detektorin avulla kuvattavasta kohteesta kerätään tarvittava kuvainformaatio, josta voidaan tietokoneeseen ohjelmoitujen algoritmien avulla saada mittaustuloksia tai lajittelu- ja säätöohjeita. (Soini 1996, 20.)

Yleisimmät konenäön käyttökohteet puuteollisuudessa ovat dimensioiden mittaaminen ja laadun seuranta ja lajittelu, esimerkiksi viilussa oksat ja reiät. Lisäksi konenäkö havaitsee lahon, väriviat ja halkeamat. Oksien tunnistaminen voidaan luokitella hahmotunnistamiseksi. Erilaiset piirteet ja esimerkiksi reunaviivat voidaan hakea kuvasta laskennallisesti. (Suomi 1992, 14.).

Suuri osa lajittelusta konenäöllä tehtävästä lajittelusta voidaan hoitaa mustavalko ja harmaasävyihin perustuvalla lajittelulla. Tämä pätee myös viilujen lajitteluun. Värinäöllä lajittelua voidaan kuitenkin täydentää. Vielä 90-luvun puolivälissä 90 % oli värisokeita, eli mustavalko ja harmaasävyjä hyödyntäviä tekniikoita. (Soini 1996, 21.)

Laajennettaessa pistemäistä värimittausta suuremmalle kuva-alueelle värivaihteluiden mittaus ja spatiaalisen tiedon yhdistäminen värivaihteluihin tulee mahdolliseksi. Yksittäisten mittauspisteiden väri mitataan usein kolmella

värikomponentilla: punaisella, virheällä ja sinisellä (R, G, B). Tämä ei kuitenkaan riitä vaativimmissa sovelluksissa, vaan väriarvot on mitattava tiheämmällä spektrijakaumalla. (Soini 1996, 21.)

Valaistus on oleellinen osa konenäön toimintaa ja luotettavuutta. Lisäksi valonlähteellä ja valon heijastumisella voidaan kohteeseen tuoda uusia värejä, jotka eivät ole mitattavalle kohteella ominaisia. Mitattava kohde valaistaa yleensä päältä sekä alta. Hyvällä taustavalolla saaadaan parannettua kohteen kontrastia ja näin mittaus on helpompaa. Taustavalon on pystyttävä erottamaan ja järjestelmän kalibroinnissa tulee kiinnittää erityistä huomiota myös taustavalon osalta. (Soini 1996, 21.)

Viilun lajittelussa kuvauspisteessä viilumaton alla käytetään yleensä voimakasta taustavaloa, joka heijastaa reikien ja halkeamien läpi, jolloin reiät ja halkeamat erottuvat kuvista taustavalon värisenä. Valo on yleensä valkoinen, mutta myös esimerkiksi vihreää taustavaloa käytetään.

Haasteena konenäön käytössä ovat virheet joko ohjelmassa tai logiikan ohjauksessa. Viilun mittauksessa ongelmalliseksi muodostuvat mm. kupruileva viilu ja erilaiset heijastukset viilun pinnassa, jolloin kamera ei tulkitse pintaa oikein. Logiikan ohjauksessa kalibrointi on tärkeää, jotta esim. viiluarkin katkaisu tapahtuu juuri oikea-aikaisesti.

4.2 Tiheyslajittelu

Puun tiheydellä on yleensä vahva korrelaatio puun lujuuteen, joten erilaisia tiheyslajittelumenetelmiä puun ja viilun lajitteluun on sovellettu ja kehitetty. Esimerkiksi ultraääntä voidaan käyttää sekä tukki- että viilulajittelussa.

Röntgenillä on mahdollista selvittää tiheysominaisuuksia, mutta menetelmä on käytössä lähinnä tukkilajittelussa ja sahatavaran lajittelussa puun yleisen sisäarakenteen selvittämisessä. Viilujen sisäarakenteessa ei ole suuria muutoksia ja esimerkiksi oksien kasvusuunta on käytännössä kohti suoraan sorvatun viilun pintaan nähden, joten näkymättömissä olevia oksan vaikutuksia ei ole.

Useamman röntgenlähde-detektoriparin muodostamasta tomografiakuvasta on selkeästi havaittavissa tiheämpi puuaines, kuten oksat. Röntgenmittaus on kuitenkin järjestemänä huomattavan kallis. (Östberg 2010, 26)

Radiotaajuuksiin perustuvia mittausjärjestelmiä ovat esimerkiksi Metriguardin VITKA (Viilu Tiheys Kosteus Anturi), sekä Mecanon MDA (Moisture and Density Analyzer). Molemmilla laitteilla voidaan mitata tiheyden lisäksi myös viilun kosteutta. Tiheyden mittauksen osalta molemmat ovat mikroaaltotekniikoita hyödyntäviä mittausmenetelmiä, mutta esimerkiksi VITKA on jo hieman vanhentunut keksintö käytössä vähenevissä määrin. (Metriguard 2013; Raute 2013.)

Viilun tiheyttä on mahdollista mitata monin eri menetelmin. Tässä tutkimuksessa käytetty menetelmä perustui radioaktiiviseen säteilyyn. Ennen viilun katkaisua sijaitsevan säteilylähteen ja detektorin välistä ajettiin kuivattu viilumatto.

Mittauksesta saatu tieto todettiin luotettavaksi, mutta käytännön toteutus tehdasympäristössä aiheutti ongelmia. Viilumatolle jäänyt tila säteilijän ja vastalaitteen välissä oli vain muutamia senttimetrejä, ja viilumaton epätasaisuus ja virheet tukkivat raon usein. Rakoa ei ollut järkevää kasvattaa, koska säteily hajosi muuten liian suurelle alalle ja mittaustulosten luotettavuus kärsi.

Lisäksi säteilijä mittasi viilumatosta suhteellisen pienen alan. Mittaus tapahtui pistemittauksena ja viilumaton liikkuessa yhden mittauspulssin pituudeksi tuli 150 mm. Koko viilumaton leveys on kyseisellä sorvilijalla yleensä joko 1500 mm tai 1600 mm, joten mittaus ei kuvaa tiheyttä koko viilumaton leveydeltä, vaikkakin tiheysvaihtelu puun rungon/viilun pituussuunnassa on yleensä erittäin vähäistä.

4.3 Lujuuskamera

Lokakuussa 2013 vaneritehtaalle asennettiin uusi UPM:n kehittämä lujuuskamera, jonka luotettavuutta ja korrelaatiota muihin mittausmenetelmiin lähdettiin tutkimaan opinnäytetyössä. Kamera on asennettu kehikkoon noin kahden metrin korkeudelle alta kulkevasta viilusta. Saatava lujuusdata kuvataan erikseen valaistulta alueelta viilumaton pinnasta. Nykyisellä asennuksella kamera ei ota kuvaa aivan kohtisuoraan viilumattoon nähden ja kuvatarkkuutta on vielä vara

parantaa. Kuitenkin kuvat ovat riittävän hyvälaatuisia, jotta saatavia lujuusarvoja ja kokeellisen osan tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Kameralta saatu lujuustieto perustuu viilun väri vaihteluun. Puun vuosirenkaassa näkyvän tumman kesäpuun tiedetään olevan tiheämpää kuin vaalean kevätpuun (Puuinfo 2013.). Toisaalta koivun kevät- ja kesäpuun pienestä tiheyserosta johtuen koivusta ei voida selvästi erottaa varsinaista kevät- ja kesäpuuta (Niemistö 2008, 189). Vuosilustoista voidaan kuitenkin viilun pinnasta havaita lujuutta alentavaa vinosyisyyttä.

Saatavat lujuusarvot perustuvat vahvasti virheiden tunnistamiseen. Vinosyisyyttä merkittävämmät oksat erottuvat selvästi tummempina kameran kuvassa. Oksien lisäksi myös kovalaho näkyy kuvassa tummempana ja voidaan oikein määrittelemällä luokitella lujuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Kuvauspisteessä viilumaton alla käytetään yleensä voimakasta taustavaloa joka heijastaa reikien ja halkeamien läpi, jolloin reiät ja halkeamat erottuvat kuvista taustavalon värisenä. UPM:n lujuuskameran kohdalla kuvauspisteessä ei kuitenkaan ollut erillistä valoa, vaan taustan väri oli musta.

5 KOKEELLINEN OSA

Vanerin taivutuslujuustuloksista pyrittiin löytämään korrelaatio tiheysmittarin antamiin arvoihin ja lujuuskamerasta saatuun dataan. Lisäksi lujuuteen vaikuttavia tekijöitä analysoitiin erillisellä koekappaleiden skannauksella. Koneellisesti mitattujen tiheysarvojen paikkansa pitävyys varmistettiin käsinpunnituksella.

Monipuolisella seurannalla pyrittiin löytämään luotettavia tuloksia. Vastauksia etsittiin noin 250 viulun koe-erästä. Viiluista liimattiin erityyppisiä koevanereita lujuuden osalta lajittelemalla viilut tiheyden ja vikaisuuden mukaan.

Lujuuskameran osalta tutkimuksessa keskityttiin kolmen lajitteluparametrin luotettavuuden todentamiseen. UPM on hakenut mittaustekniikalle ja kyseisille lajitteluparametreille patentit. Työssä tutkittiin mikä tai mitkä parametreista tulisivat olemaan lopullisia lajitteluperusteita tehdaskäytössä. Lisäksi olemassa olevien satojen parametrien joukosta pyrittiin etsimään vielä uusia mahdollisia parametreja, joita voitaisiin hyödyntää viulun lajittelussa.

5.1 Eri mittausmenetelmien vertailu

Ensimmäisen varsinainen kameralajittelu tapahtui marraskuussa Joensuussa, jolloin kameralta tuleva tieto saatiin ohjaamaan viulun pinkkarin logiikkaa. Viulun katkaisu tapahtui edelleen normaalin Mecanon visuaalisen luokittelun mukaan, mutta lajittelusta eriytettiin K2-laatu, joka pinkattiin lujuuskameran ohjaamana kahteen erilliseen lokeroon määrätyn raja-arvon perusteella.

Vaikka lajittelun tarkoitus tulevaisuudessa on erottaa mahdollisimman lujaa viilua, kokeessa ei kerätty kaikista lujinta viilua. Konenäön parametrien ja lujuutta alentavien tekijöiden selvittämiseksi kaikista parhaimmissa viiluissa olisi ollut lujuutta alentavia tekijöitä hyvin harvassa. Kerättäessä K2-luokan viilua, oksia ja muita vikoja oli huomattavasti enemmän. Näitä lujuuteen heikentävästi vaikuttavia ominaisuuksia oli helpompi tutkia, ilman että

koekappalemäärät kasvoivat kohtuuttoman suuriksi. Tosin K2-laadussakin oksia on vielä suhteellisen vähän. Oksamäärä kasvaa huomattavasti mentäessä K3-laatuun.

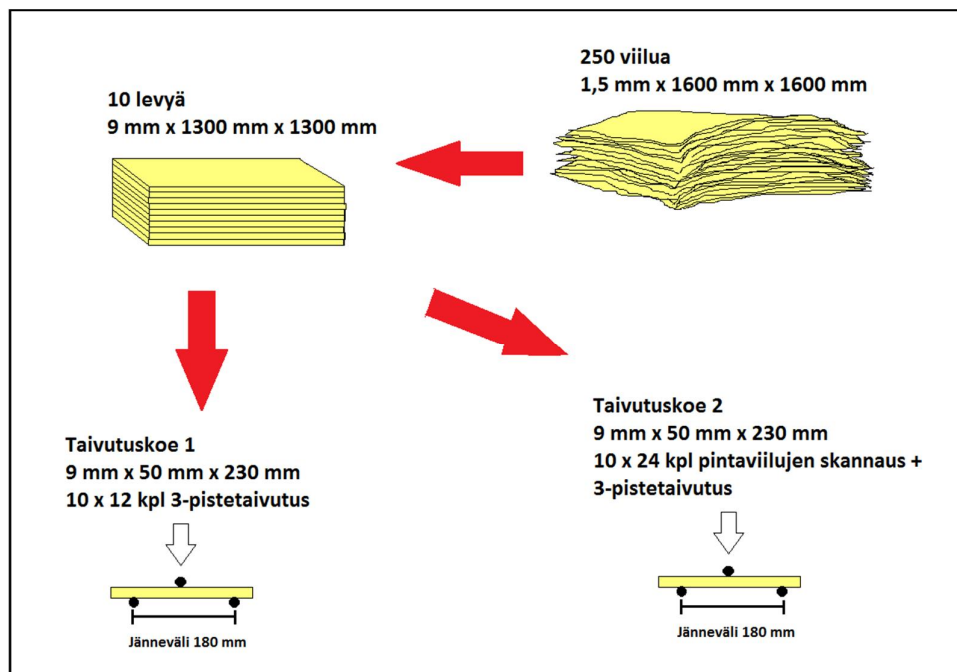
Lajiteltaessa kuivurilta tulevaa viilua tiedettiin puun tiheyden pienentyvän puun ydintä kohti mentäessä. Näin ollen tiheän viilun löytämiseksi jätettiin viilumaton häntä suosiolla pois keräyksestä. Lisäksi pöllin keskityksestä johtuen viilumaton loppuosassa puun sydänpuun osuus voi vaihdella myös pituussuunnassa. Kameranalta tuleva tieto säilytettiin puskurimuistissa ja ohjelmaan laitettiin ehto, joka viilumaton loputtua hylkäsi viimeiset kaksi täyttä arkkia pois keräyksestä. Kerätyn viiluarkin koko oli 1590 * 1590 mm. Keräys kesti 1 h 20 min, jonka aikana saatiin talteen noin 80 hyvää ja 160 huonompilaatuista viilua.

Joensuussa kerätyt viilut toimitettiin Lahteen käsinpunnitusta ja muita kokeita varten. Viiluista oli tallennettu keräyksen aikana suhteellisen paljon dataa. Viilutietoa oli tallennettu ljuuskameralla, Mekanolla, sekä tiheyslajittelijalla. Lisäksi viilumattoihin voitiin yhdistään sorvin pöllitiedot.



KUVA 4. Viilujen käsinpunnitus. Vaa'an päälle rakennettiin viiluarkin kokoinen kehikko. Viilut punnittiin yksitellen ja tulokset kirjattiin Excel-taulukkoon.

Ennen käsinpunnitusta viiluarkit eriteltiin pölleittäin Mecanon kuvien perusteella. Viiluarkeissa ja Mecanon kuvissa oli jonkin verran poikkeamia, mutta pääpiirteittäin viilut saatiin järjestykseen. Vertailulla saatiin selville kuinka monta viilua per pölli oli saatu haettua K2 -laatua. Tämän jälkeen viilut punnittiin käsin, minkä yhteydessä yksittäiset viilut numeroitiin kameran numerointia vastaavaksi. Numeroinnilla voitiin myöhemmissä testivanerille tehdyissä kokeissa yhdistää koelevyissä käytetyt viilut alkuperäisiin kuviin ja muihin pöllin tietoihin.



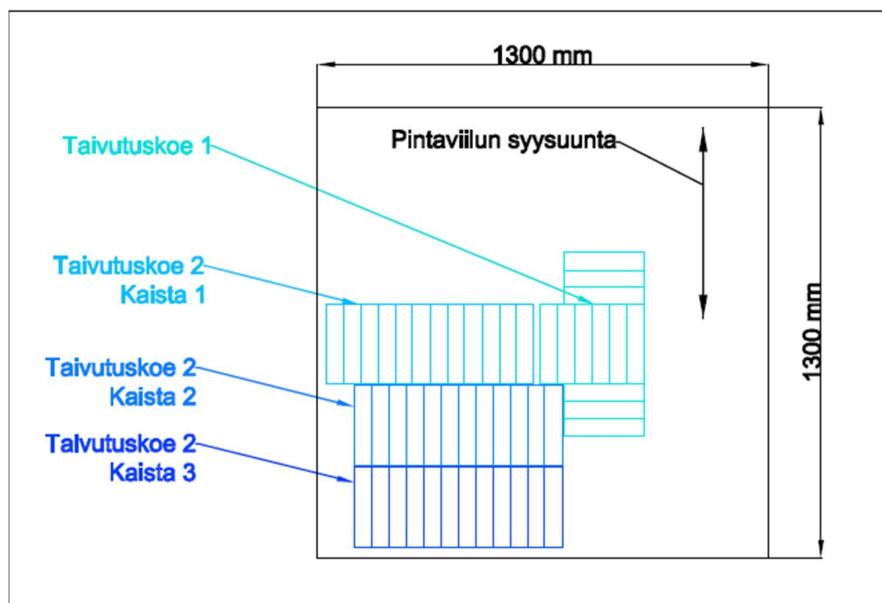
KUVIO 5. Pelkistetty havainnekuva kokeellisen osan työvaiheista.

Punnituksen ja numeroinnin jälkeen valittiin sopivat viilut koevanerin tekemiseen. Ennen liimausta viiluarkit sahattiin 1300 mm x 1300 mm:n kokoisiksi. Molemmista kameran lajittelemasta paremmasta ja huonommasta laadusta tehtiin viisi 9 mm 7-ply-vaneria, eli yhteensä 10 levyä. Levyt numeroitiin 1-10:een niin, että 1-5 olivat huonoista ja 6-10 hyvistä viiluista valmistettuja. Levyihin valittiin viilut punnitun painon mukaan niin, että vanerin numeron kasvaessa myös viilun paino kasvoi. Eli vanerit numero 1 ja 6 olivat kevyimpiä ja 5 ja 10 painavimpia.

Lisäksi viilut pyrittiin valitsemaan niin, että yhden vanerin viilut olisivat samasta pölistä vähintään samansuuntaisten viilujen osalta. Materiaali riitti tähän suhteellisen hyvin, vain hyvien viilujen painavimpaan levyyn jouduttiin ottamaan jokainen neljästä pintaviilun suuntaisesta viilusta eri pöleistä riittävän painon saavuttamiseksi. Valitsemalla ja latomalla viilut kyseisessä järjestyksessä pyrittiin mallintamaan tehdasolosuhteita. Lisäksi myös liiman levitysmäärän, avoimen ajan, sekä puristusajan ja -paineen osalta jäljiteltiin mahdollisimman pitkälle tehdasympäristöä.

5.2 Taivutuskokeet

Kappaleille tehtiin EN 310-taivutuslujuustesti. Jokaisesta kymmenestä levystä otettiin yhteensä 12 koekappaletta ensimmäiseen kolmen pisteen taivutuslujuustestiin (Kuvio 6). Koekappaleen koko oli 230 mm x 50 mm. Taivutuksessa käytetty jänneväli 180 mm, joka saadaan laskemalla testattavan levyn paksuus kertoimella 20.



KUVIO 6. EN 310 -taivutuskokeeseen sahattujen koekappaleiden sijainti testivanerissa.

Ensimmäiseen taivutuskokeeseen sahattiin kuusi kappaletta pintaviilun syyn suuntaisesti ja kuusi poikkisyysuuntaan. Koekappaleet taivutuskokeeseen otettiin levyn keskiosasta, jotta testattavaksi saatiin varmasti kappaleet

alueelta, jolta viilu on mitattu tiheysmittarilla ja lujuuskameralla. Lujuuskamera jakaa viilumaton pituussuunnassa neljään kaistaan. Tehdaskoeajoa tehtäessä kaistoista oli käytössä vain kaksi keskimmäistä. Näin varmistettiin reuna-alueilta mahdollisesti tulevien viilumaton leveydestä ja viilumaton kuljettimen päällä tapahtuvasta vaelluksesta johtuvien mittausvirheiden ja häiriöiden välttäminen.

Ensimmäisten taivutuslujuuskokeiden otanta todettiin tulosten analysoinnissa kuitenkin liian pieneksi. Vertailtaessa kokonaisesta viiluarkista saatua lujuusarvoa korrelaatiota 12 koekappaleeseen per koelevy oli haastavaa löytää, eikä tuloksia voitu pitää luotettavina. Toisessa kokeessa sahattiin kolminkertainen määrä koekappaleita ensimmäiseen testiin verrattuna. Koelevyt jaettiin kolmeen kaistaan, joista koekappaleet sahattiin (Kuvio 6).

Toisessa taivutuslujuuskokeessa kaikki kappaleet sahattiin pintaviilun syyn suuntaiseksi. Eli taivutuslujuus testattiin pintaviilun syysuuntaan. Pintaviilun tiedetään vaikuttavan eniten ohuen vanerin pituussuuntaiseen taivutuslujuuteen, ja näin voitiin keskittyä tarkastelemaan koekappaleiden pintaviilujen ominaisuuksia. Taivutettaessa vaneria pintaviilun poikkisyysuunnassa pintaviilusta seuraavan liimaviilun vaikutus korostuu ja viilujen lujuusominaisuuksien tarkastelu olisi monimutkaistunut.

Toisessa testissä ensimmäisestä kaistasta koestettiin kaikki kappaleet, ja tämän lisäksi toisesta ja kolmannelta kaistasta testiin poimittiin kappaleet, joissa oli vikaa sekä kappaleet, jotka olivat vian vaikutusalueella. Käytännössä taivutettavaksi etsittiin kappaleet, joissa oli oksa taivutusalueella (kappaleen keskikohta ± 45 mm) sekä viereiset kappaleet ko. kappaleen molemmin puolin. Yhteensä koestettavia kappaleita kertyi noin. 240 kappaletta. 1. kaistalta testattiin 12 kappaletta per levy, sekä 2. ja 3. kaistalta keskimäärin 6 + 6 kappaletta per levy.

Ennen taivutusta koekappaleiden kosteus tasaannutettiin tuotekehityksen säähuoneessa. Huoneen suhteellinen ilmankosteus oli 65 % ja lämpötila 20 °C. Taivutuskokeiden jälkeen tehdyn punnituskuivauskokeen perusteella

tasaannutus onnistui hyvin, koska suuria eroja kosteudessa koekappaleiden välillä ei ollut havaittavissa (Liite 1.)

5.3 Skannaus

Koska ensimmäisen taivutuskokeen tuloksista ei voitu vetää riittäviä johtopäätöksiä, pyrittiin toisesta taivutuskokeesta saamaan yksityiskohtaisempia tuloksia. Suuremman otannan sekä vikaisuuksien valinnan lisäksi kappaleet päädyttiin skannaamaan erillisiksi kuviksi.

Skannatuista kuvista voidaan mallintaa alkuperäisen lujuuskameran kuvan antama arvo kappalekohtaisesti pintaviilujen osalta. Erikseen kuvattuna yksittäisen koekappaleen pintaviilujen lujuusarvoja ja taivutuslujuuttua saatiin verrattua luotettavemmin ja paljon yksityiskohtaisemmin. Kaikkien sahattujen kappaleiden ylä- ja alapinta kuvattiin skannerilla ennen taivutuskoetta (Kuva 5). Skannerin kuvista rajattiin erilleen jokainen koekappale sekä koekappaleen keskeltä taivutusalue, jonka pituudeksi määriteltiin 90 mm.

Kuvankäsittelyllä skannerikuvan resoluutio muutettiin vastaamaan paremmin Joensuun tehtaalte asennetun lujuuskameran kuvaa. Näin saatiin pintaviilujen lujuusdata, joka vastasi tarkasti yksittäistä koekappaletta ja luotettava vertailu taivutuslujuuteen oli mahdollista.

Kuvamittausten jälkeen viiluihin tehtiin ladonnassa merkintöjä tussilla. Kappaleet, joissa oli merkintöjä kriittisellä 90 mm:n keskialueella, poistettiin analyysistä. Tämän jälkeen skannerikuvien rinnalle haettiin vielä vastaava kuvadata myös Mecanon kuvista. Vaikka prosessi oli suhteellisen työläs, etuna Mecanon kuvissa oli, että tussimerkintöjä ei ollut. Eli otanta kasvoi hieman, vaikkakin myös Mecanon muutama puuttui tai oli puutteellinen. Lisäksi Mecanon kuvista viilun kuvapinta-ala saatiin hieman suuremmaksi, koska skannerikuvissa näkyviä sahatun kappaleen reunoja ei tarvinnut varoa ja rajata, koska sahaamattomassa viilussa ole kyseisiä rajoja ei ole.



KUVA 5. Koekappaleiden skannaus. Skanneriin mahtui kerralla neljä kappaletta rinnakkain.

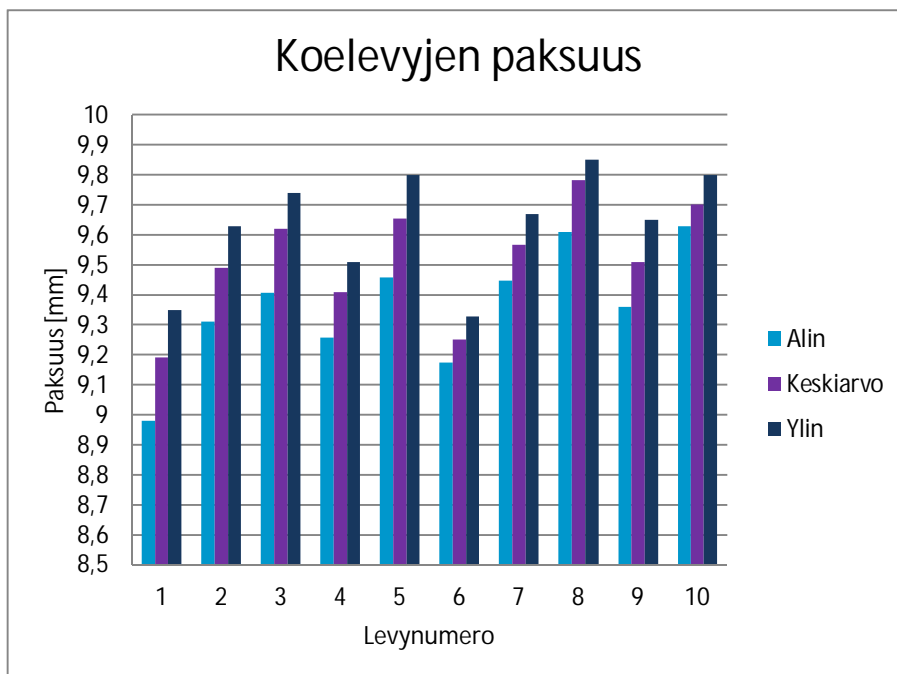
6 TULOKSET

Tulosten tarkastelu voidaan jakaa kahteen osaan: Perinteisestä taivutuslujuuskokeesta saadut tulokset kertovat koelevyjen materiaalina käytettyjen viilujen ominaisuuksista ja eroista. Eroja tarkastellaan levyjen välillä sekä kappaletasolla vaikuttavien vikojen tasolla. Tämän lisäksi yhdistämällä taivutuslujuuskokeesta saatu informaatio lujjuuskameran dataan saadaan uudenlaista tietoa lujjuuskameran antamien arvojen ja taivutuslujuusominaisuuksien korrelaatiosta.

6.1 Levyn tiheyden ja paksuuden korrelaatio

Ennen varsinaista taivutuskoea otettiin kaikista taivutetuista koekappaleista mitat ja paino. Yksittäisiä koekappaleita tarkasteltaessa selkeää korrelaatiota tiheyden ja paksuuden kesken ei ollut havaittavissa. Samasta levystä saatuilla kappaleilla paksuuserot ovat luonnollisesti pieniä etenkin tiheimmissä levyissä.

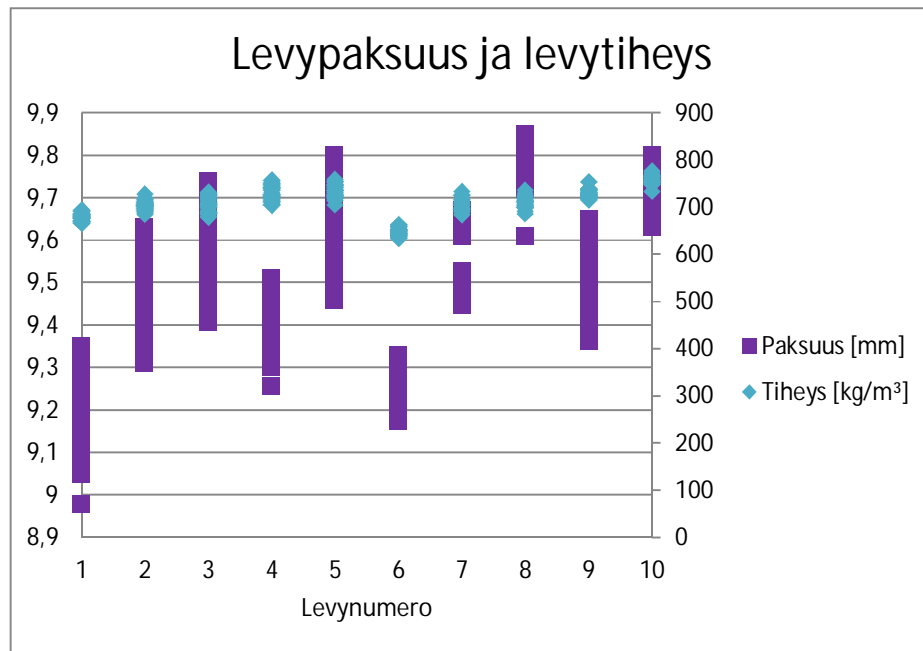
Koelevyjen puristamiseen käytettiin paineohjattua puristuskaavaa. Tuloksista voidaan havaita kuinka paljon enemmän kevyet viilun puristuivat kasaan verrattuna painaviin viiluihin (Kuvio 7). Suurin kokoonpuristuma oli sekä huonojen että hyvien viilujen osalta odotetusti levyissä, joissa käytettiin kevyitä viiluja. Eli levynumerot 1 ja 6 olivat ohuimpia. Paksummissa levyissä yhtä selkeää korrelaatiota käytettyjen viilujen osalta ei ollut havaittavissa. Oikeastaan paksumpien levyjen materiaalina oli käytetty keskipainavia viiluja. Painavimmista viiluista tehty levyt olivat toki keskiarvon yläpuolella. Levypaksuutta tarkateltaessa poikkeavia levyjä olivat levynumerot 4, 9 ja 10. Kyseisten levyjen olisi voinut olettaa viilutietoihin perustuen olevan paksumpia, mutta toisaalta painavimmissa levyissä, esimerkiksi 8-10, erot käytettyjen viilujen painojen osalta eivät olleet kovin suuret. Näin mm. yksittäisten oksien vaikutus kokoonpuristumassa korostuu.



KUVIO 7. Valmistettujen koelevyjen paksuudet.

Viilujen valinta näkyi kuitenkin selvästi levyjen välillä. Kokonaisuudessaan levyn paksuus vaihteli välillä 8,89 mm - 9,85 mm. Keskiarvoisesti levykohtainen paksuusero ohuimman ja paksuimman kappaleen välillä oli 0,27 mm. Paksuusvaihtelu oli suurempaa huonommista viiluista tehdyillä levyillä.

Kappaleen paksuuden kasvaessa myös tiheys kasvoi, mutta muutos tiheydessä oli suhteessa suurempaa. Vertaamalla koekappaleiden paksuutta ja tiheyttä voidaan havaita levytiheyden vastaavan paremmin käytettyjen viilujen painojakaumaa. (Kuvio 8).



KUVIO 8. Paksuuden ja tiheyden vaihtelu levyittäin.

Viilujen tiheys kasvoi odotetusti tasaisesti 1-5 ja 6-10 välillä. Tiheysvaihtelu kaikkien koekappaleiden osalta tapahtui välillä $634 \text{ kg/m}^3 - 777 \text{ kg/m}^3$ ja levykohtainen tiheysvaihteluväli oli keskiarvoisesti $44,1 \text{ kg/m}^3$.

6.2 Taivutuspuolen ja ladontajärjestyksen vaikutus

Jokaisesta levystä sahattiin yhteensä 12 koekappaletta ensimmäiseen taivutustestiin. Koekappaleet numeroitiin yhdestä kuuteen pintaviilun syysuunnan mukaan. Eli syysuunnassa taivutetut ja poikkisyysuunnassa taivutetut kappaleet erikseen.

Taivutuslujuutta testattaessa ensimmäisessä taivutuskokeessa joka toinen levy käännettiin ylösalaisin, eli levyn alkuperäinen yläpinta laitettiin alaspäis. Parittomasti numeroidut kappaleet testattiin siis niin, että viilut pääsääntöisesti olivat painavempia kappaleen alapinnalla ja kevyempiä yläpinnalla. Vastaavasti parillisissa koekappaleissa tilanne oli päinvastainen.

Odotettavissa oli, että parittomat kappaleet olisivat kyseisessä testissä lujempia, vaikkakin painoerot viilujen välillä eivät olleet kovin merkittäviä. Pääsääntöisesti viilut yhteen koelevyyn otettiin kahdesta tai kolmesta eri

viilumatosta. Lisäksi viilut ladottiin todellista tehdasladontaa mallintaen, eli samassa järjestyksessä kuin viilut yleensä otetaan liimaukseen katkaisun jälkeisestä pinkkauksesta.

Tuloksista on havaittavissa, että parittomat kappaleet olivat yleisesti lujempia. Erot eivät kuitenkaan keskiarvotasolla ole suuret. Syysuunnassa taivutettaessa kaikkien parittomien kappaleiden keskiarvolujuus oli 82,03 N/mm², kun parillisten arvo oli 80,38 N/mm². Poikkisyysuunnan taivutuksessa ero oli vain 0,83 N/mm² parittomien hyväksi.

Tarkasteltaessa levykohtaisia tuloksia erot olivat suuremmat. Yhtä poikkeusta lukuunottamatta kaikissa levyissä kappaleet olivat kestävämpiä aina “samanpuoleisesti”, eli jos pariton kappale oli syysuuntaan lujempi, oli tulos sama myös poikkisyysuunnassa.

Koelevyjen ladonta aloitettiin aina niin, että viilumatosta ensimmäisenä leikattava viilu tuli vaneria liimattaessa päällimmäiseksi. Näin ollen teoriassa puun tiheyden pienentyessä pölin pinnasta ytimeen päin mentäessä tiheimmät ja lujimmat viilut tulisivat aina lähelle vanerin yläpintaa.

TAULUKKO 1. Koevanereiden ladontajärjestys ja käytettyjen viilujen painot (g). Tummempi väri = painavempi viilu.

Levynumero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pintaviilu, yläpinta	2260	1940	2200	2240	2320	1920	2080	2280	2150	2420
Liimaviilu	1900	2140	2080	2170	2240	1760	2000	2000	2320	2420
Kuivaviilu	1990	2040	2240	2220	2320	1900	2120	2220	2140	2380
Liimaviilu	1900	2080	2120	2200	2260	1740	2020	2160	2180	2320
Kuivaviilu	1900	2090	2200	2240	2320	1940	2140	2200	2140	2200
Liimaviilu	1880	2080	2080	2170	2260	1760	2060	2180	2220	2360
Pintaviilu, alapinta	1880	2120	2160	2240	2320	1920	2160	2060	2160	2540

Käytännössä tulokset ovat ristiriidassa joidenkin ominaisuuksien kanssa (Taulukko 1). Esim. levyt 1 ja 2 ovat molemmat lujempia parittomalta puolelta taivutettaessa, mutta kuivien viilujen painoerot vanerin sisällä ovat kyseisissä levyissä päinvastaiset. Eli 1. levyssä kuivan viilun paino laskee mentäessä yläpinnalta alapinnalle ja 2. levyssä päinvastoin. Näin ollen voidaan selvästi nähdä, että yksin paino ei ole merkittävin viilun

ominaisuus, vaikkakin viilun paino ja tiheys ovat usein verrannollisia viilun lujuuteen.

6.3 Taivutuslujuus

Yksistään taivutuslujuutta tarkasteltaessa kokeet eivät tarjonneet suuria yllätyksiä. Tarkastelussa kappaleet jaettiin oksattomiin, oksaisiin ja oksan lähialuekappaleisiin. Oksakappaleet olivat odotetusti heikoimpia ja erot oksan lähialueen ja oksattoman kappaleen välillä olivat myös selvät. (Taulukko 2). Kimmomoduuliarvojen käyttäytyminen oli hyvin samantyyppistä.

TAULUKKO 2. Taivutuslujuus ja kimmomoduuli 2. taivutuslujuustestin osalta.

Kappale	FM[N/mm ²]	E _{mod} [N/mm ²]	Kpl määrä
Oksattomat	78,77	9127,16	131
Lähialue	76,86	9003,34	57
Oksat	69,45	8530,53	50

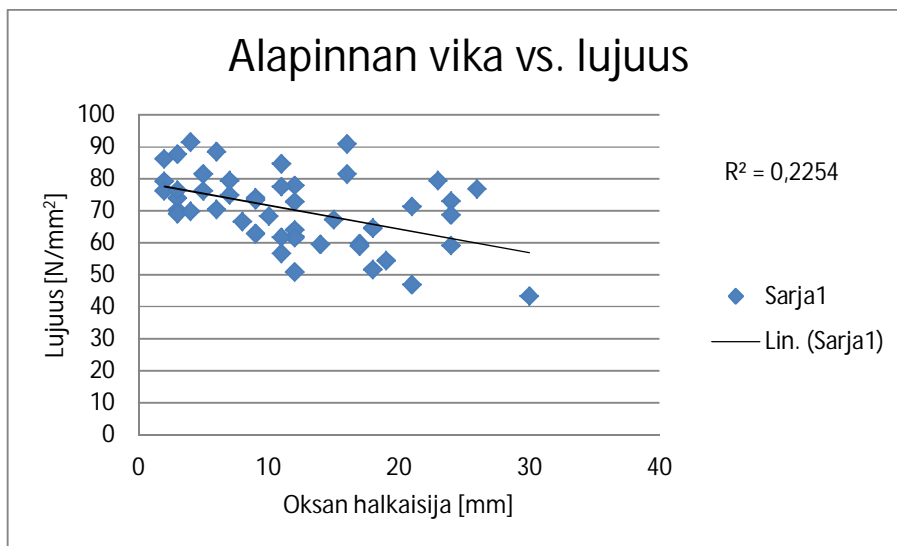
6.4 Pintaviilun vaikutus

Vanerin sisäviilujen ominaisuuksia ja ladontajärjestystä huomattavasti taivutuslujuuteen enemmän vaikuttava tekijä on pintaviilun laatu. Erityisesti taivutuksessa alapinnassa käytetty viilu ja viilun viat näkyivät selvästi taivutuslujuudessa. Eli kappaleen alapintaan kohdistuvan vetovoiman vaikutus kappaleeseen on suurempi kuin yläpintaan kohdistuva puristusvoima.

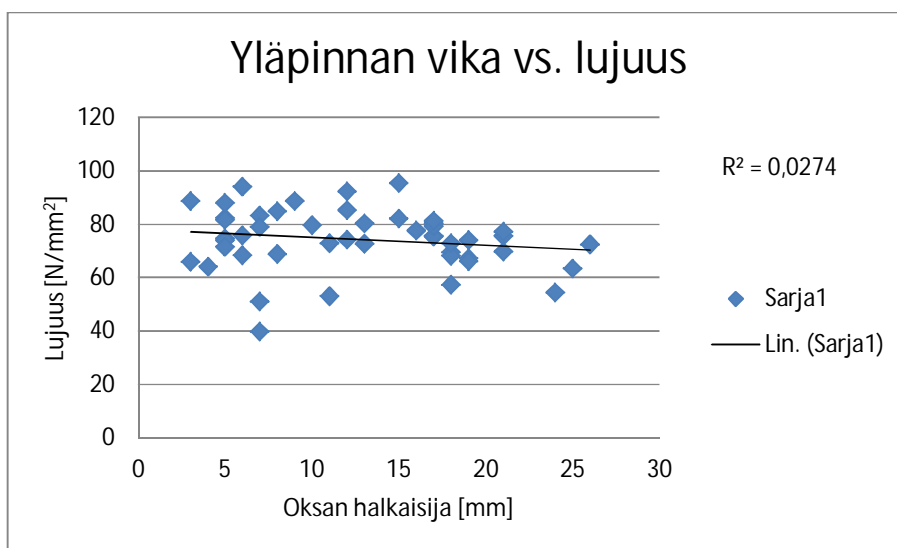
6.4.1 Oksakoe-kappaleet

Taivutuslujuuksia tarkastellessa on selvästi havaitaissa, kuinka vika levyn alapinnalla vaikuttaa lujuuteen heikentävästi enemmän kuin levyn yläpinnalla oleva vika. Myös oksan halkaisija korreloi taivutuslujuuden kanssa. Kuviossa 9 alapinnan oksan koko korreloi taivutuslujuuden kanssa, kun taas yläpinnan oksalla korrelaatiokerroin taivutuslujuuden suhteen jää hyvin olemattomaksi (Kuvio 10).

Vaikkakin ero koelevyjen välillä on suuri käytettjen viilujen tiheyden ja vikaisuuden osalta, yksittäisen oksan vaikutus levyn alapinnan viilussa on selkeästi nähtävissä.



KUVIO 9. 3-piste taivutuksessa taivutuskoe 2:ssa koekappaleen alapinnalla olleen vian vaikutus koekappaleen lujuuteen.



KUVIO 10. 3-piste taivutuksessa taivutuskoe 2:ssa koekappaleen yläpinnalla olleen vian vaikutus koekappaleen lujuuteen.

6.4.2 Oksan lähialueet

Toisessa taivutuskokeessa kappaleet lajiteltiin myös oksan lähialueisiin. Oksan lähialueeksi luokiteltiin sahatun oksakappaleen viereiset kappaleet molemmin puolin. Lähialueen kappaleet taivutettiin aina sama pinta alaspäin oksakappaleen kanssa. Näin saatiin tietoa oksan lähialueen lujuuteen heikentävästä vaikutuksesta kappaleen alapinnan viiluna. Oksan lähialuetta on ollut vaikeaa tunnistaa aiemmin olemassa olevilla konenäköjärjestelmillä.

Luonnollisesti oksan lähialueen korrelaatio taivutuslujuuden alenemiseen on pienempi kuin oksakappaleilla. Oksan vaikutus on noin kolme kertaa oksan halkaisija (Koponen ja Salovaara, 2004). Näin ollen oksan sijainti oksakappaleessa vaikuttaa myös oksan lähialuekappaleen käyttäytymiseen taivutuslujuutta mitattaessa. Mikäli pieni oksa on keskellä oksakappaletta, oksan teoreettinen vaikutus ei yllä viereisiin koekappaleisiin.

Oksan lähialuekappaleista jaettiin erikseen vielä kappaleet, joiden viereisen oksakappaleen oksan vaikutusalue (kolme kertaa oksan halkaisija) varmasti ulottui lähialuekappaleen mitta-alueelle. Tulokset eivät kuitenkaan käytännössä parantuneet aikaisemmista vertailuista. Lisäksi otanta pieneni alle 30 kappaleeseen, joten samalla tulosten luotettavuus kärsi. Mainittakoon kuitenkin, että parhaimman korrelaation tällä lajittelumenetelmällä antoi P4 parametri korrelaatiokertoimen ollessa 0,4.

6.4.3 Oksattomat koekappaleet

Oksattomiksi kappaleiksi luokiteltiin kappaleet, joilla oli vähintään yksi sahattu koekappale välissä lähimpään oksaan vai muuhun pintaviilussa nähtävissä olevaan vikaan. Myös oksattomissa kappaleissa pintaviilun vaikutus koko levyn lujuuteen näkyy. Vaikka väliviiluissa esiintyi satunnaisesti joitakin oksia ja muita vikoja, olivat oksattomien kappaleiden taivutuslujuudet riippumatta taivutuspuolesta keskiarvoltaan hyvin lähellä toisiaan. Hajonta oksattomien kappaleiden taivutuslujuuksissa oli siis varsin pientä.

6.5 Lujuuslajittelukriteerit ja -parametrit

Viilun pinnassa tapahtuvien muutosten tarkastelu lujuuskameralla perustuu viilusta otettavan kuvan kuvakoon muutoksiin. Kameralta saatavasta kuvadatasta voidaan mm. rajaamalla pois eri värejä tunnistaa kuvattavan pinnan ominaisuuksia ja saada aikaiseksi erilaisia lajitteluparametrejä. Opinnäytetyön yhtenä tärkeimmistä tavoitteista oli tutkia parametrien toimintaa ja käyttökelpoisuutta käytännössä sekä löytää lujuuslajitteluun parhaiten soveltuvat parametrit ja parametrien yhdistelmät lopulliseen viilun lajitteluohjelmaan.

Mahdollisia lajitteluparametrejä löytyi lopulta yli kaksisataa. Parametrit voidaan jakaa karkeasti mustavalko-, harmaansävy- ja värisävykuvista saatuihin tiedostoihin, jotka voidaan eri laskentamenetelmillä muokata tunnistamaan haluttuja piirteitä konenäöllä mitattavasta viilusta. Opinnäytetyön laajuuden järkevän rajaamisen kannalta tarkempaan tarkasteluun valittiin kuitenkin vain neljä todennäköisintä parametriä mustavalko- (BW), harmaansävy- (Gray) ja punasävydatan (Red) joukosta. Eli yhteensä työssä vertailtiin 12 eri parametriä sekä alkuperäisestä värikuvatiedoston pakattua kokoa. Koska koekappaleen alapinnan viilulla on suurin vaikutus kappaleen lujuuteen, vertailtaessa lujuusdataa taivutuslujuuksiin tarkastelussa oli aina taivutetun koekappaleen alapinnan viilusta saatu lujuusdata.

Opinnäytetyössä vertaillut eri värisävyjen parametrit on nimetty numeroin 3 - 6. P2 on värikuvasta pakattu JPEG -tiedoston koko. P3 on alkuperäisestä värikuvasta tehty harmaasävy-, mustavalko- tai yksittäisen värin kuvakoko. P4 on laskennallinen koko P3 vastaavasta kuvasta. Parametri P5 on puolestaan nollien määrä P3 kuvadatasta. P6 kuvaa värin keskimääräistä intensiteettiä P3 kuvasta.

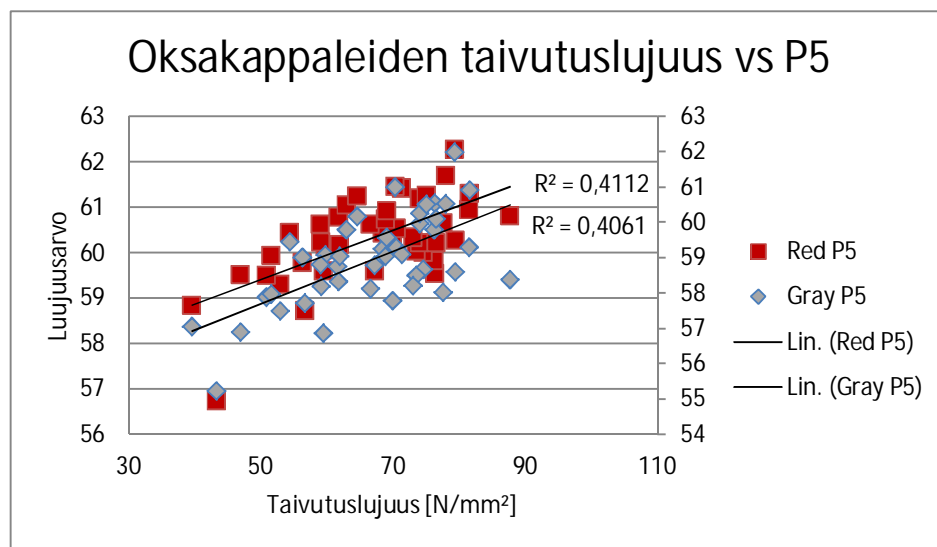
Esimerksi parametrien toiminnasta voidaan ottaa P6 sekä koelevyt 1, 5 ja 8, joiden pintaviilut olivat silmämääräisesti selvästi tummempia muihin viiluihin verrattaessa. Kyseisistä levyistä sahattuja koekappaleita oli toisessa taivutuskokeessa yhteensä noin 40. Tummat viilut erottuivat selvästi värin keskimääräistä intensiteettiä kuvaavan parametrin tarkastelussa. Järjestämällä koekappaleet suuruusjärjestykseen Gray P6:n mukaan kyseisen 40 koekappaleen

arvot olivat selvästi lähellä toisiaan lukujoukon alapäässä, muiden levyjen arvojen hajaantuessa suuremmalle vaihteluvälille.

6.5.1 Oksakappaleet

P5 parametrilla voidaan helposti tunnistaa ääripään värejä, kuten oksia.

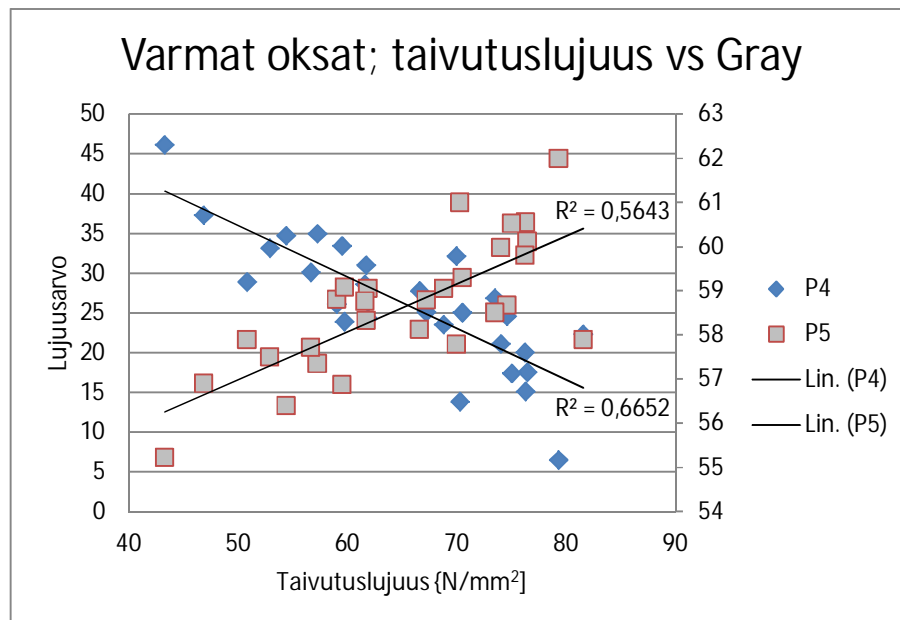
Lujuuslajittelukokeessa Red P5 ja Gray P5 parametrit osoittautuivat parhaimmiksi oksan tunnistuksessa. Kun koekappaleista eriteltiin kappaleet, joissa oli oksa alapinnalla, antoivat kyseiset parametrit vahvimmat korrelaatiot taivutuslujuudelle (Kuvio 11).



KUVIO 11. Oksakappaleiden taivutuslujuuden ja Red P5 ja Gray P5 parametrien korrelaatio.

Kuviossa 11 tulosten hajontaa kasvattaa oksien sijoittuminen koekappaleissa. Osa oksista jäi kappaleen sahauksessa tai kuvan rajauksessa reuna-alueelle niin, että vain osa oksasta tuli analysoitavalle alueelle. Kun oksakappalekuvista poimittiin yksitellen varmasti kokonaan taivutus- ja kuva-alueelle osuvat oksat antoivat Gray P4:lle ja P5:lle jo todella lupaavan korrelaation taivutuslujuuden suhteen (Kuvio 12). Varmojen oksakappaleiden suhteellisen alhainen lukumäärä, 28, tosin laskee tuloksen painoarvoa jonkin verran. Hieman yllättävää oli, että Gray P5:n kanssa kaikkien oksakappaleiden kanssa vastaavaa tulosta antaneen, Red P5:n korrelaatiokerroin varmojen oksakappaleiden kohdalla heikkeni 0,22:een.

Vastaavasti muut harmaasävyyn parametrin paranivat Red P5:ta paremmaksi. Esimerkiksi Gray P4 nousi jopa korkeammalle tasolle kuin Gray P5.



KUVIO 12. Varmojen oksakappaleiden taivutuslujuuden ja Gray P4 sekä - P5 parametrin korrelaatio.

Vertailussa kuvien lujuusdatasta poimittiin kappalekohtainen data. Myös skannerikuvista saatavia lujuusarvoja tarkastellessa varmojen oksakappaleiden taivutuslujuuden osalta korrelaatiot olivat selviä.

6.5.2 Oksan lähialueet

Tuloksista on havaittavissa, että oksan tunnistus on luotettavaa. Sen sijaan oksan lähialueilta ja oksattomalta alueelta lujuuden kanssa korreloivia ominaisuuksia on huomattavasti haastavampaa havaita. Kun etsitään lujinta mahdollista viilua, kyse on aina käytännössä oksattomasta viilusta. Testatuista kappaleista lujimmat kappaleet olivat oksattomia, mutta myös oksan lähialueilta tuli hyvin korkeita taivutuslujuusarvoja.

Oksattomassa viilussa myöskään oksan lähialueita ei luonnollisesti ole, mutta oksan lähialueen tunnistuksella voitaisiin lujuuslajitella muutamia oksia sisältäviä viiluja paremmin. Oksan lähialueelle tyypillistä paikoin hyvinkin voimakas vinosyisyys (Kuva 6).



KUVA 6. Vinosyisyyden esiintyminen oksien lähialueella.

TAULUKKO 3. Pintaviilun vaikutus taivutuslujuuteen.

Kpl nro	[N/mm ²]
5.1.1	87,91
5.1.2	90,69
5.1.3	87,69
5.1.4	95,32
5.1.5	94,06
5.1.6	87,73
5.1.7	77,66
5.1.8	80,3

Koekappaleita taivutettaessa kappaleet 5.1.1 – 5.1.5 taivutettiin kuvassa näkyvä viilu alapintana. Taulukossa 3 on nähtävissä kyseisten koekappaleiden taivutuslujuuden haasteellinen ennustettavuus esimerkiksi pintaviilun vinosyisyyden perusteella. Kappaleet 5.1.6 – 5.1.8 taivutettiin kuvassa näkyvä viilu yläpintana. Kappaleissa 5.1.7 ja 5.1.8 esiintyvän ison oksan vaikutus taivutuslujuuteen on selvästi nähtävissä vaikka oksa onkin yläpinnalla. Mainittakoon, että kyseisten koekappaleiden vastapinnalla ei ollut merkittäviä oksia taivutusalueella.

Oksan lähialueen taivutuslujuus korreloi heikosti minkään tarkastelussa olleen lujuusparametrin kanssa. Parametreistä useampi antoi noin 0,3

korrelaatiokertoimen taivutuslujuudelle, mutta edes kyseisten parametrien ylä- tai ala-alueita pois rajaamalla kerroin ei merkittävästi tätä ylemmäs noussut.

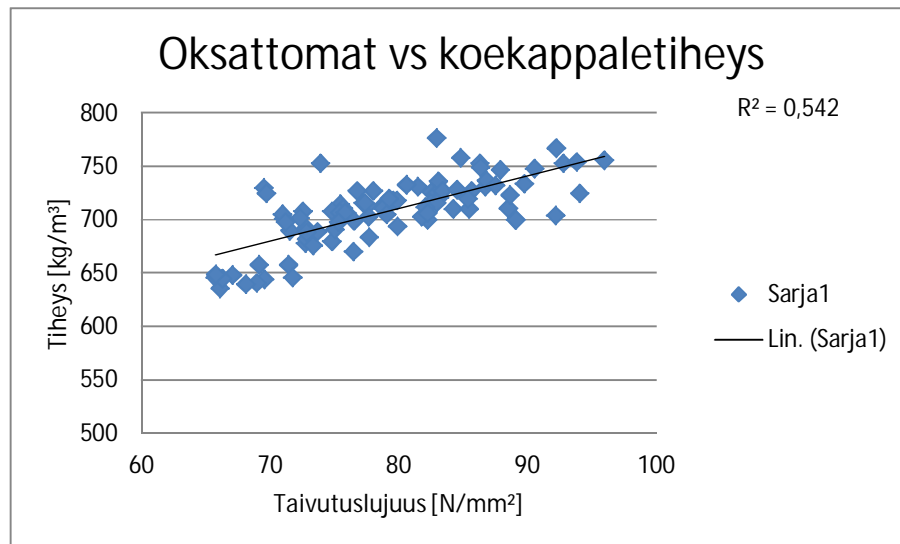
Tarkastelua vaikeuttaa oksan koko ja sijainti koekappaleissa. Mikäli oksa on oksakappaleen keskellä tai aivan reunassa, oksan vaikutusalue muodostuu viereisiin kappaleisiin eritavoin.

Lujuuskameran kuvista on mahdollista tunnistaa väri vaihtelu erikseen horisontaali-, vertikaali- tai diagonaalisuunnassa. Oksattomat ja oksan lähialuekappaleet luokiteltiin erikseen myös pintaviilun syykuvion mukaan, suora, vino, aaltoileva jne. Tämän jälkeen kyseisiä kappaleita verrattiin erikseen horisontaali, vertikaali- ja diakonaaliparametreihin. Tästä huolimatta merkittäviä yhteisiä tekijöitä ei löytynyt. Perinteisessä konenäössä on ollut myös haasteellista tunnistaa U:n muotoiset kuviot. Joissain tapauksissa ei tiedetä, kuinka konenäkö tulkitsee esim. oksan, jolla on U:n tapaisen symmetrinen muoto. Lujuuskameralla vuosilustokuvion U-kärjen huiput on periaatteessa mahdollista tunnistaa, mutta muodon vähäisestä esiintymisestä johtuen data hukkuu helposti massaan.

6.5.3 Oksattomat kappaleet

Kunnollista korrelaatiota oksattomien kappaleiden lujuusdatan ja taivutuslujuuden välillä ei ollut havaittavissa. On luonnollista, että erot hyvien pintaviilujen välillä vaikutuksessa koko kappaleen taivutuslujuuteen ovat pienemmät kuin heikompilaatusilla pintaviiluilla. Näin ollen hyvillä pintaviiluilla koekappaleen muut ominaisuudet vaikuttavat taivutuslujuuteen suhteessa enemmän, esimerkiksi väliviilujen oksat.

Varmojen oksattomien kappaleiden taivutuslujuuden ja koekappalettiheyden korrelaatiokerroin oli kuitenkin suhteellisen vahva; 0,54. Oksan lähialueilla vastaava korrelaatiokerroin oli 0,19, eli selvästi alhaisempi ja oksakappaleilla kerroin tippui jo 0,01:een. Näin ollen käytettävissä olevalla tiheyslajittelulla on mahdollista lujuuslajitella oksatonta viilua suhteellisen luotettavasti lujuuskameran sijaan.



KUVIO 14. Varmojen oksattomien kappaleiden taivutuslujuuden ja koekappaletiheiden korrelaatio.

6.5.4 Raaka-ainavaihtelu

Testeissä käytetyt viilut olivat riittävän viilun vikaisuuden saamiseksi K2 -luokan viiluja. Näin ollen todellisen raaka-aineen potentiaalista ja raaka-ainevaihtelusta ei saada kunnollista kuvaa, kun ajatellaan kaikkien lujimman mahdollisen vanerin valmistusta. Näin ollen tuloksista ei voida päätellä esimerkiksi, kuinka paljon vanerin lujuusominaisuudet paranevat uudella lujuuslajittelumenetelmällä. Myöskään vertailuaineistoa K2-luokan viilusta valmistetusta 9 mm:n vanerin taivutuslujuudesta ei ollut saatavilla. Sen sijaan tulosten merkittävyys on uuden lujuuslajittelukameran toimivuuden todentamisessa. Käytännön kokeilla saatiin selville, mitkä parametreista soveltuvat parhaiten lujuuslajitteluun.

7 KEHITYSEHDOTUKSET

Lujuus- ja tiheyslajittelun vaikutuksia paksuustoleransseihin olisi mielenkiintoista seurata. Viilun lujuus korreloi viilun tiheyden kanssa sekä viilun tiheyden on puolestaan todettu korreloivan viilun ja vanerin kokoonpuristuman kanssa. Sorvauksen jälkeen 1,5 mm paksu viilu puristuu kuumapuristuksessa kokoon normaalisti 0,1 mm, eli viilun paksuus valmiissa vanerissa on 1,4 mm (Koponen & Salovaara 2004, 7).

Viilun lujuus- ja tiheyslajitteluun perustuvalla ladontajärjestyksellä voidaan saavuttaa vanerin viilukerroksien tiheysjakauman vaihtelun väheneminen. Tiheyserot pinta- ja sisäviiluissa vanereiden välillä muuttuvat siis nykyistä yhtenäisemmäksi. Näin ollen myös kokoonpuristuman vaihtelu kuumapuristuksessa pitäisi vähentyä, millä voi olla huomattavia vaikutuksia vanerin hiontaan ja paksuustoleransseihin etenkin paksuimpien tuotteiden kohdalla. Vaikutus paksuustoleransseihin on varmasti helposti havaittavissa normaalin tehdas-seurannan yhteydessä tai pienellä levypaksuuden seurannan tehostamisella. Asian huomioon ottaminen ja vaikutusten seuranta ei siis edes vaatisi kovin suuria erityisjärjestelyjä käytännössä.

Mikäli kuumapuristuksessa tapahtuvan kokoonpuristuman vaihtelu pienenee, helpottuu hionta huomattavasti. Vanerin hionnassa pintaviilun paksuus pienenee noin 0,4 mm. Hionnassa viilun paksuus siis alenee lähes kolmasosalla alkuperäisestä, ja tämä muutos väistämättä vaikuttaa myös viilun ja koko vanerilevyn lujuuteen. Kun levystä ei tarvitse hioa yhtä suurta paksuutta pois, vähentyy mm. puhkihionnan vaara selvästi. Samalla kun levykohtainen hiontamäärä pienenee, myös pintaviilun lujuusominaisuudet säilyvät parempina.

Näin ollen nykyiset paksuustoleranssit olisivat helpommin saavutettavissa. Toleranssia voitaisiin myös pienentää, erityisesti tuotteissa, joissa mittatarkkuus paksuuden osalta on olennainen. Lisäksi hiontamäärän laskiessa luonnollisesti myös hiomakone on pienemmällä rasituksella. Tämä helpottaa kunnossapidon työtä ja voi vähentää huoltotarvetta pitkällä aikajänteellä.

8 YHTEENVETO

Useiden viljelykoivikkojen saavuttaessa harvennus- ja pian myös päätehakkuuiän voi koivutukin saatavuus lähivuosina parantua. Kuitenkin samalla laadussa on odotettavissa pientä heikkenemistä viljelypuun nopeasti tapahtuneesta kasvusta johtuen. Lisäksi tuontitukissa, riippuen hakkuualueesta, voi olla laadullista vaihtelua enemmän kuin kotimaasta saatavasta koivutukissa. Tukin ja saatavan viilun laadun ennakkointi on vaikeaa, ja osa vaneripölin lopullisesta potentiaalista selviää vasta sorvattessa. Sorvatus viilun lujuusominaisuuksien arviointi on aiemmin ollut haastavaa, vaikka visuaalinen lajittelu onkin pitkälle kehittyntä. Raaka-aineen laadun vaihtelu on aina ollut haasteellinen osa puuteollisuutta, mutta erityisesti vanerin kannalta viilun lujuuslajittelumahdollisuus antaa selkeästi uusia mahdollisuuksia tuotekehitykselle.

Vian tunnistuksen kehittämiseksi koevanereissa käytettiin K2-viilulaatua. Koska tehdyt kokeet suoritettiin käyttäen ainoastaan kyseistä laatua, ei tuloksista pystytty päättämään, kuinka paljon käyttämätöntä potentiaalia nykyisin saatavilla olevalla koivutukilla ja viilulla on. Eli mahdollisia lujuusominaisuuksien parannuksia nykyisiin tuotesovelluksiin ei opinnäytetyön tuloksista voi suoraan päätellä. Niin ikään mahdollista raaka-ainesäannon parantumista alemmissa lujuusluokissa on vaikea arvioida, koska pääpaino oli lujuuskameran luotettavuuden testaamisessa. Aiheen rajauksesta huolimatta kokeet kuitenkin osoittavat, että parannuksille on vahvat edellytykset tutkituilla ja pian laajemmin käytettävissä olevilla mittausten menetelmillä ja lajittelukriteereillä.

Eri mittausmenetelmiä pystyttiin vertailemaan kattavasti. Lujuuteen vaikuttavista tekijöistä saatiin hyvällä koelevyjen ladontajärjestyksen suunnittelulla varsin monipuolista tietoa, kun otetaan huomioon, että käytössä oli varsinaisesti vain yksi koeaineisto. Koeaineston laajuus oli kuitenkin riittävä ja aineiston pilkkominen pienempiin kokonaisuuksiin oli mahdollista yksityiskohtaisten tulosten saamiseksi oksaisten, oksan lähialueiden ja oksattomien kappaleiden osalta.

Tehdyt kokeet osoittavat, että yksin tiheys- tai lujuusmittauksella ei saada kerättyä haluttuun käyttökohteeseen parasta mahdollista viilua. Nykyisellä

tiheysmittausmenetelmällä saadaan luotettavia tuloksia oksattoman viilun tiheydestä, mutta menetelmällä ei kyetä tunnistamaan oksia ja oksan vaikutukset voivat jäädä huomioimatta. Lujuuskameralla puolestaan oksan ja oksan lujuutta alentavan vaikutuksen tunnistus on vahvaa, mutta oksattoman viilun analysoinnissa eroja on vaikea saada esille. Yhdistämällä kyseiset mittausmenetelmät on mahdollista saada luotettavaa tietoa viilun lujuudesta ennen viilumaton katkaisua arkeiksi. Kyseisen yhdistelmän luotettavassa kalibroinnissa on toki omat haasteensa, mutta koeviilujen keräys tehdasolosuhteissa onnistui varsin hyvin.

Lujuuslajittelumenetelmää voidaan varmasti vielä kehittää. Pidempiaikaisen tehdaskäytön jälkeen kehitystarpeet selkiytyvät ja lajittelusta saatava hyöty kasvaa. Parhaimmissa viilulaaduissa tiheyden vaikutus lujuusominaisuuksiin korostuu, kun taas alemmissa laatuluokissa oksan lujuusvaikutukset ovat suhteessa selvästi suuremmat. Raaka-ainesaannon järkevän suhteen säilyttämiseksi lujuuslajittelun raja-arvojen määrittämiseen on panostettava. Käytettävissä olevat mittausmenetelmät, eli tiheyden säteilymittaus sekä lujuuskamera käyttäen Gray P4 -parametria antavat, kuitenkin erittäin hyvät työkalut oikeiden arvojen määrittämiseksi, jolloin lujuuslajittelusta saadaan irti paras mahdollinen hyöty.

LÄHTEET

Kirjalliset lähteet:

Koponen S ja Salovaara J. 2004. Vikojen vaikutus koivuvanerin lujuusominaisuuksiin

Kärkkäinen M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Metsäkustannus

Niemistö P, Viherä-Aarnio A, Velling P, Herajärvi H, Verkasalo E. 2008. Koivun kasvatusta ja käyttöä, Metla. Hämeenlinna: Metsäkustannus

Pennala E. 1979. Veto- ja taivutuskokeet koivu-, seka- ja kuusivaneille; Kokeet; Koekappalekohtaiset koetulokset

Soini A. 1996. Väriäön teolliset sovellukset, Tekes. Helsinki: Tekes

Suomi S. 1992. Automaattinen tunnistus, VTT. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Verkasalo E ja Herajärvi H. 2009. Potential of European Birch Species for Production Development of Veneer and Plywood – Recovery, Grades and Mechanical Properties and Future Market Requirements. Metla

Elektroniset lähteet:

Aarne Matti. 2013. Forest Finland in Brief 2013, METLA. [viitattu 12.4.2014]
Saattavissa: http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/muut/Forest-Finland_2013.pdf

Arponen Juha, Herajärvi Henrik, Kilpeläinen Harri ja Ylimartimo Tapio. 2008. Tuontikoivutukin laatu. Metlan työraportteja. [viitattu 12.12.2014]
Saattavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp067.pdf>

American Plywood Association. 2011. HDO/MDO Plywood Product Guide. [viitattu 12.4.2014]
Saattavissa: <http://bluelinxco.com/Portals/0/docs/LiteratureLibrary/Structural%20Panels/APA%20HDO%20and%20MDO%20Plywood.pdf>

Breiling Oliver. 2011. Höyrynkulutuksen hallinta viilunkuivauksessa. [viitattu 12.4.2014]
Saattavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31479/Breiling_Oliver.pdf?sequence=1

Handbook of Finnish Plywood. 2007. [viitattu 19.12.2013]

Saatavissa:

http://www.upm.com/cn/products/plywood/Documents/Handbook_EN.pdf

Hokka Timo, Vuorenpää Tuomo. 2001. Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen. [viitattu 19.12.2013]

Saatavissa:

http://www.academia.edu/2575161/Kuitupuun_tehdasmittauksen_kehittaminen

Korhonen K T, Tomppo E, Tuominen S, Ihalainen A. 2014. Valtakunnan metsien investointi, VMI11. [viitattu 12.4.2014]

Saatavissa: <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi-mvarat.htm>

Metriguard. 2013. [viitattu 12.4.2014]

Saatavissa: <http://www.metriguard.com>

Metsäteho Oy, Markku Mäkelä; Kari Korhonen ja Katariina Lipponen. 1999. Metsäntutkimuslaitos – Tunne puuraaka-aineen lahoviat. [viitattu 12.4.2014]

Saatavissa:

www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Tunne_puuraakaaineen_lahoviat_opas.pdf

Puuinfo. 2013. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. [viitattu 11.11.2013]

Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puun-lujuusteknisia-ominaisuuksia>

PuuProffa. 2014. Rakenneviat. [viitattu 11.11.2013]

Saatavissa:

http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=74

Raivio T. ja Syrjänen M. 2005. Automaatio ja Tekes – Näkökulma teollisen alan teknologiaohjelmatoimintaan. [viitattu 3.4.2014]

Saatavissa: http://www.tekes.fi/Julkaisut/automaatio_ja_tekes.pdf

Raute Oyj. 2013. [viitattu 12.4.2014]

Saatavissa: <http://www.raute.com>

UPM. 2013. Vuosikertomus 2013. [viitattu 19.3.2014]

Saatavissa:

http://www.upm.com/FI/SIJOITTAJAT/Documents/UPM_vuosikertomus_2013.pdf

Österberg P. 2010. Mekaanisen metsäteollisuuden mittausteknologiat. [viitattu 20.3.2014]

Saatavissa: [http://oske-net-](http://oske-net-bin.directo.fi/@Bin/c1a81ab57823beb7fed0c3b027bc79e0/1399016256/application/pdf/272333/%C3%96sterberg_Mekaanisen%20puunjalostuksen%20mittausten%20nykytila%20ja%20tulevaisuuden%20n%C3%A4kym%C3%A4t.pdf)

[bin.directo.fi/@Bin/c1a81ab57823beb7fed0c3b027bc79e0/1399016256/application/pdf/272333/%C3%96sterberg_Mekaanisen%20puunjalostuksen%20mittausten%20nykytila%20ja%20tulevaisuuden%20n%C3%A4kym%C3%A4t.pdf](http://oske-net-bin.directo.fi/@Bin/c1a81ab57823beb7fed0c3b027bc79e0/1399016256/application/pdf/272333/%C3%96sterberg_Mekaanisen%20puunjalostuksen%20mittausten%20nykytila%20ja%20tulevaisuuden%20n%C3%A4kym%C3%A4t.pdf)

Muut lähteet:

Koponen S. 2005. Viilujen ja vanerin ominaisuudet (PowerPoint)

Usenius 2003. Mekaanisen Puun Mittauspäivät (Seminaari materiaali)

LIITTEET

Koekappaleiden kosteusnäytteet, taivutuskoe 2:

Levy	näytepala	koekappale	l	L	b	t	m65	m0	u [%]	tiheys
1	1	6	180	230	49,89	9,31	72,35	64,231	11,2	601,2
2	1	6	180	230	49,95	9,43	77,62	68,885	11,3	635,8
3	1	6	180	230	49,96	9,7	76,85	68,193	11,3	611,8
4	1	6	180	230	49,98	9,41	80,04	70,998	11,3	656,3
5	1	6	180	230	49,94	9,74	80,32	71,57	10,9	639,7
6	1	6	180	230	49,99	9,29	68,4	60,73	11,2	568,6
7	1	6	180	230	50,01	9,67	78,53	69,92	11,0	628,6
8	1	6	180	230	49,99	9,8	79,32	70,763	10,8	628,0
9	1	6	180	230	49,96	9,63	80,53	71,281	11,5	644,2
10	1	6	180	230	50	9,72	84,02	74,899	10,9	670,1
1	2	6	180	230	49,86	9,28	72,25	64,349	10,9	604,7
2	2	6	180	230	49,86	9,53	78,01	69,244	11,2	633,6
3	2	6	180	230	49,79	9,66	78,35	69,494	11,3	628,2
4	2	6	180	230	49,83	9,48	80,76	71,7	11,2	659,9
8	2	7	180	230	49,86	9,81	78,8	70,487	10,5	626,6
10	2	6	180	230	49,84	9,76	83,73	74,908	10,5	669,5
1	3	6	180	230	49,78	9,19	71,69	63,634	11,2	604,8
2	3	6	180	230	49,86	9,52	79,64	70,69	11,2	647,5
3	3	6	180	230	49,86	9,69	76,7	67,871	11,5	610,8
4	3	6	180	230	49,86	9,48	82,29	72,996	11,3	671,4
5	3	6	180	230	49,87	9,74	81,21	72,12	11,2	645,5

Keskiarvo		49,9	9,6	78,2	69,5	11,1	632,7
Keskihajonta		0,071	0,19	4,04	3,65	0,269	26,3
Suhde		0,001	0,020	0,052	0,053	0,024	0,042